

Louvain School of Management

La révolution du secteur financier et immobilier par la Blockchain : enjeux et conséquences.

Auteurs : Noël William et Schiettecatte Melwin
Promoteur : Olieslagers Ruben
Année académique 2023-2024
Master [120] en sciences de gestion à finalité spécialisée
Horaire de jour

Declaration Regarding AI Tool Usage in Master's Thesis

We recognize that AI tools might be valuable aids during the master's thesis work, but they are not infallible. Remember that transparency fosters trust, and acknowledging AI's role enhances the credibility of your work.

Therefore, when deciding to use such a tool, you need to adhere to the following principles of responsible use of AI.

1. Critical Evaluation :

- We critically assessed the AI-generated output, ensuring its alignment with our research objectives.
- Any modifications or corrections were made based on our expertise and domain knowledge.

2. Transparency :

- We acknowledge the use of Chat GPT transparently, emphasizing that it contributed to our work but did not replace human judgment.
- Our commitment to transparency ensures the integrity of this thesis.

3. Ethical Considerations :

- We actively monitored for biases or unintended consequences introduced by the AI tool.
- Our ethical responsibility guided our decisions throughout the research process.

Declaration (This declaration is mandatory and must appear on the first page (after the title page) of the document.

During the preparation of this master's thesis, the author(s) utilized Chat GPT for the following purpose:

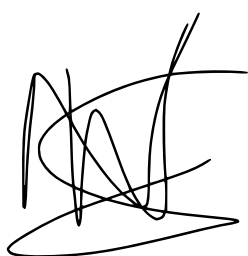
1.[REASON] : We used Chat GPT to help us formulate sentences and correct our spelling and syntax mistakes. In addition, we used it to give us an idea of the main lines to follow in the development of our thesis.

2.

After using Chat GPT, the author(s) diligently reviewed and edited the content produced by the tool. We take full responsibility for the final content presented in this thesis.

By signing this declaration, we affirm that the content of this master's thesis reflects our original work, augmented by the responsible use of AI.

Fait à Libramont le 27 mai 2024,



Nous tenons tout d'abord à remercier notre promoteur, Monsieur Ruben Olieslagers, pour son suivi, sa disponibilité ainsi que pour ses précieux conseils tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous aimerions aussi remercier l'ensemble du corps professoral de l'UCLouvain et de la Louvain School of Management pour tous les cours de qualité dont nous avons pu bénéficier et qui nous seront, sans aucun doute, toujours d'une grande utilité dans notre parcours professionnel futur.

Nous adressons également nos remerciements à nos parents respectifs, qui n'ont jamais cessé d'être là pour nous durant toutes nos années d'études.

Nous souhaitons également remercier certains membres de nos familles qui ont accepté de relire et de corriger notre mémoire.

Table des matières

I. Introduction	1
II. Revue littéraire	3
2.1 Fondements de la Blockchain	3
2.1.1 Définition et Origine de la Blockchain	3
2.1.2 Principes Fonctionnels de la Blockchain	4
2.1.4 Caractéristiques Clés et Avantages Théoriques	11
2.2 Technologie et Infrastructure	14
2.2.1 Infrastructures et Plateformes de Développement	14
2.3 Concepts Avancés et Innovations	17
2.3.1 Contrats Intelligents (Smart Contracts)	17
2.3.2 Tokenisation et Représentation des Actifs	18
2.4 Applications Décentralisées (DApps)	19
2.4.1 Introduction aux DApps	19
2.4.2 Architecture et Fonctionnement des DApps	20
2.5 Défis Théoriques et Limitations	21
2.5.1 Limitations Inhérentes à la Technologie	21
2.5.2 Questions de Sécurité et de Vulnérabilité	23
2.5.3 Problèmes Éthiques et Légaux	25
III. La blockchain dans le monde financier	28
3.1 Introduction à la blockchain dans le secteur financier	28
3.1.1 Contexte et évolution	28
3.1.2 Enjeu actuel de la blockchain dans la finance	29
3.2 Avancées majeures apportées par la blockchain	30
3.2.1 Augmentation de la transparence	30
3.2.2 Amélioration de la sécurité	31
3.2.3 Réduction des coûts et de la complexité des transactions	32
3.3 Applications de la blockchain dans le secteur financier	32
3.3.1 Paiements internationaux	32
3.3.2 Financements structurés et syndiqués	34
3.3.3 Gestion d'actifs et trackers d'indice (ETFs)	35
3.4 Initiatives blockchain en Belgique et en Europe	38
3.4.1 KBC Coin	38
3.4.2 Buck-e	38
3.4.3 Kube-KYC	39
3.4.4 T-Mining	40

3.4.5 we.trade.....	41
3.4.6 Infrachain	41
3.4.7 Digital Equity.....	42
3.5 Impact de la tokenisation sur les produits financiers.....	43
3.5.1 Tokenisation des actions et obligations	43
3.5.2 Implications pour les investisseurs et les institutions.....	46
3.6 Dérégulation et nouveaux modèles d'affaires	48
3.6.1 Impact sur les banques et les institutions traditionnelles	48
3.6.2 Émergence de nouvelles plateformes de financement.....	49
3.7 Défis et barrières réglementaires	50
3.7.1 Problèmes de conformité et législation.....	50
3.7.2 Défis d'intégration avec les systèmes existants	52
3.8 Perspectives et innovations en cours	53
3.8.1 Innovations en matière de cryptographie et de sécurité.....	53
3.8.2 Impact prévu sur la stabilité financière mondiale.....	54
3.9 Étude de cas et analyses d'impact	55
3.9.1 Étude de cas : utilisation de la blockchain pour les prêts P2P	55
3.9.2 Analyse de l'impact sur le marché des changes.....	56
IV. La tokenisation de l'immobilier	58
4.1 Principes fondamentaux de la tokenisation	58
4.1.1 Contrats intelligents : une révolution dans l'immobilier	58
4.1.2 Fractionnement des actifs.....	59
4.1.3 Accessibilité des investissements immobiliers.....	60
4.2. Fonctionnement technique de la tokenisation	60
4.2.1 Transformation des intermédiaires traditionnels	60
4.2.2 Défis liés à ces transformations.....	63
4.2.3 Schémas expliquant le processus des transactions immobilières	65
4.3 Avantages et inconvénients de la tokenisation de biens immobiliers	67
4.3.1 Avantages	67
4.3.2 Inconvénients	70
4.4 L'état actuel de la tokenisation immobilière	73
4.4.1 Les États-Unis, l'Europe et le reste du monde	73
4.4.2 Facteurs expliquant la prédominance des États-Unis.....	84
4.5 ICO et STO.....	87
4.6 Types de tokenisation immobilière	89
4.6.1 Valeur des tokens et méthodes d'investissement	91

V. Enjeux et conséquences au niveau mondial	93
5.1 Impacts économiques	93
5.1.1 Nouveaux modèles économiques	93
5.1.2 Redistribution du pouvoir économique	95
5.2 Questions éthiques et sociales	98
5.2.1 Inclusion financière	98
5.2.2 Questions de confidentialité	101
5.2.3 Responsabilité et gouvernance	102
5.2.4 Impact sur le développement durable	104
5.3 Recommandations générales	104
5.3.1 Recommandations spécifiques au secteur financier	106
5.3.2 Recommandations spécifiques au secteur immobilier	106
VI. Conclusion	108
VII. Bibliographie	111
VIII. Annexes	128
8.1 Transcriptions des entretiens	128

I. Introduction

Depuis son émergence avec le Bitcoin en 2008 et sa spectaculaire montée en valeur en 2024 approchant les 67 000 dollars (Gaudiaut, 2024), la Blockchain a suscité un vif intérêt médiatique et académique. Cette technologie est en train de transformer radicalement les secteurs financier et immobilier, révolutionnant la manière dont les transactions sont réalisées et gérées. Reconnue pour son potentiel à éliminer les intermédiaires tout en augmentant la transparence et la sécurité des transactions, elle est considérée comme un changement majeur de notre siècle, capable de redéfinir les fondements de nombreux secteurs.

Outre ses avantages techniques, la Blockchain aborde des problématiques cruciales telles que l'inclusion financière, l'accès limité à l'investissement dans les marchés immobiliers peu liquides et la complexité des systèmes d'investissement traditionnels. Ces limitations, particulièrement présentes dans des secteurs traditionnellement peu accessibles, trouvent dans la Blockchain une opportunité de démocratisation. En effet, par sa capacité à simplifier et sécuriser les transactions financières et immobilières, la Blockchain propose des solutions innovantes pour ouvrir ces marchés à un public plus large, réduisant ainsi les barrières économiques et réglementaires.

Le présent mémoire, intitulé "La révolution du secteur financier et immobilier par la Blockchain : enjeux et conséquences", explore l'impact et les implications de ces innovations. Nous avons adopté une méthodologie qualitative, en nous appuyant sur des articles scientifiques, des études de cas d'entreprises pionnières, des interviews avec des experts et des observations recueillies lors d'une conférence récente sur la tokenisation immobilière. Cette approche permet de saisir les dynamiques actuelles et d'anticiper les évolutions futures nécessaires pour optimiser l'utilisation de la Blockchain.

Ce mémoire commencera par faire un état des lieux de la technologie Blockchain, en évoquant les différents fondements à l'origine de cette innovation ainsi que les divers types de blockchains existantes. Nous ferons également un inventaire de l'infrastructure actuelle, des applications décentralisées, et des défis potentiels émergeant de la mise en place de cette technologie. Cette première section établira un cadre de référence pour comprendre les applications pratiques et les enjeux sous-jacents.

La deuxième partie se concentrera sur les applications déjà effectives de la Blockchain dans le secteur financier. Nous analyserons comment les institutions financières adoptent cette

technologie pour améliorer la transparence, réduire les coûts de transaction et offrir de nouveaux services financiers. Des études de cas concrètes illustreront les transformations opérées grâce à la Blockchain et mettront en lumière les bénéfices réels observés dans le secteur financier.

Ensuite, nous explorerons l'impact de la Blockchain sur le secteur immobilier. Cette section mettra en lumière les innovations dans la tokenisation des actifs immobiliers, rendant ces marchés plus accessibles et liquides. Nous discuterons des premiers projets et initiatives dans ce domaine, ainsi que des implications économiques et réglementaires, en nous appuyant sur des exemples concrets et des données qualitatives pour démontrer les opportunités et les défis rencontrés.

Enfin, nous aborderons les perspectives futures et les adaptations nécessaires pour maximiser les bénéfices de la Blockchain dans les secteurs financier et immobilier. Cette partie inclura une discussion sur les défis à surmonter, tels que les questions de sécurité, de réglementation et d'adoption par le marché. Nous proposerons également des recommandations pour une adoption optimale de la Blockchain, en tenant compte des tendances émergentes et des stratégies d'adaptation.

En conclusion, ce mémoire vise à fournir une compréhension approfondie des impacts actuels et potentiels de la Blockchain sur les secteurs financier et immobilier. En explorant les avantages, les défis et les implications de cette technologie révolutionnaire, nous espérons offrir des perspectives éclairées pour les chercheurs, les professionnels et les décideurs politiques sur la manière de tirer parti de la Blockchain pour un futur plus transparent, inclusif et efficace.

II. Revue littéraire

2.1 Fondements de la Blockchain

2.1.1 Définition et Origine de la Blockchain

Histoire et développement initial

Le concept de blockchain a été formellement introduit en 2008 par une entité opérant sous le pseudonyme de Satoshi Nakamoto. Dans le livre blanc intitulé "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System", Nakamoto a proposé un mécanisme de paiement électronique basé sur une architecture décentralisée. Ce système utilisait ce que l'on appelle maintenant la blockchain pour enregistrer les transactions de manière transparente et sécurisée sans l'intervention de parties financières tierces (Nakamoto, 2008). Ce document est la première instance documentée où la blockchain a été appliquée de manière pratique, marquant le début de l'ère des cryptomonnaies.

Toutefois, les racines de la blockchain peuvent être retracées jusqu'à des travaux antérieurs en cryptographie. En 1991, Haber et Stornetta ont envisagé une méthode cryptographique pour sécuriser les documents numériques par l'horodatage des enregistrements, utilisant une chaîne de blocs pour assurer l'intégrité contre les modifications (Haber & Stornetta, 1991). Bien que leurs intentions n'inclussent pas la création d'une monnaie numérique, ces travaux ont posé les bases théoriques sur lesquelles Nakamoto s'appuierait plus tard.

Le développement et l'adoption de la blockchain comme technologie sous-jacente pour les applications qui vont au-delà des simples transactions monétaires ont été analysés par de nombreux chercheurs. Par exemple, Swanson (2014) explore comment la blockchain a été adoptée dans des domaines variés tels que la logistique et la finance, où ses principes de décentralisation et d'immuabilité offrent des solutions aux défis de confiance et de sécurité rencontrés par les systèmes conventionnels.

En outre, Yli-Huumo et al. (2016) soulignent que la recherche sur la blockchain a explosé, couvrant non seulement les aspects techniques mais aussi les implications économiques et organisationnelles de la technologie. Leur analyse démontre que la blockchain est considérée par la communauté académique comme une innovation potentiellement disruptive qui pourrait transformer de nombreux aspects des interactions numériques et commerciales.

Principaux précurseurs et leur influence

Les fondations de la blockchain reposent sur des travaux antérieurs dans le domaine de la cryptographie et de la sécurité numérique, avec des contributions significatives de plusieurs

pionniers dont l'influence a directement façonné les premières implémentations de la technologie blockchain.

David Chaum est reconnu comme l'un des pères fondateurs de la cryptographie appliquée, notamment avec la création de DigiCash, une entreprise qui a mis en œuvre pour la première fois le concept de monnaie électronique cryptographique dans les années 1990. Son travail sur les signatures aveugles a fourni une méthode pour assurer l'anonymat des transactions, un principe qui est devenu un élément central des cryptomonnaies modernes (Chaum, 1983).

Nick Szabo, quant à lui, a proposé le concept de "smart contracts" dans les années 1990, bien avant que la technologie permettant de les réaliser ne soit disponible. Ces contrats automatisés et auto-exécutables sont maintenant intégrés dans des plateformes comme Ethereum, jouant un rôle essentiel dans leur fonctionnement et offrant une vaste gamme d'applications au-delà des transactions monétaires (Szabo, 1997).

Wei Dai et Adam Back ont également influencé le développement de la blockchain avec leurs propositions pour b-money et Hashcash, respectivement. Dai a décrit un système de monnaie numérique où la monnaie est créée par le peuple plutôt que par une autorité centrale, préfigurant les mécanismes de consensus décentralisé (Dai, 1998). De son côté, Back a développé Hashcash, un système de preuve de travail utilisé pour limiter les spams et les attaques par déni de service, qui a été adapté par Nakamoto pour sécuriser le réseau Bitcoin (Back, 2002).

Ces innovations ont jeté les bases théoriques et pratiques sur lesquelles Satoshi Nakamoto s'appuierait pour créer Bitcoin et, par extension, la première blockchain fonctionnelle. En étudiant ces contributions, on comprend mieux comment les idées anciennes ont été transformées en nouvelles solutions technologiques qui ont révolutionné la manière dont les transactions numériques sont sécurisées et gérées.

2.1.2 Principes Fonctionnels de la Blockchain

Structure des blocs et chaînes

La blockchain se caractérise par une architecture qui enregistre les transactions dans des blocs liés et sécurisés par des hachages cryptographiques. Chaque bloc contient un en-tête et une liste de transactions. L'en-tête du bloc comprend des informations essentielles telles que le hachage du bloc précédent, garantissant ainsi une chaîne continue et inaltérable. Cette structure en chaîne assure que chaque bloc ajouté renforce la sécurité des blocs précédents, rendant la blockchain résistante aux modifications non autorisées et aux attaques (Narayanan et al., 2016).

L'arbre de Merkle, intégré dans chaque en-tête de bloc, résume toutes les transactions incluses dans le bloc, facilitant une vérification rapide et sécurisée des transactions sans nécessiter l'accès à l'intégralité du bloc. Cette efficacité est cruciale pour maintenir la performance du système malgré la croissance du volume de données (Merkle, 1980).

La signature numérique de chaque transaction dans le bloc assure l'intégrité et l'authenticité des transactions, validant les expéditeurs et destinataires et protégeant contre les fraudes. Le hachage unique de chaque bloc, généré à partir des informations de l'en-tête, relie de manière sécurisée chaque bloc à son prédécesseur, formant une chaîne ininterrompue. Cette dépendance cryptographique entre les blocs rend toute tentative de modification antérieure extrêmement difficile, car cela nécessiterait de recalculer les hachages de tous les blocs subséquents, une tâche pratiquement infaisable sans une puissance de calcul considérable et le consensus du réseau (Narayanan et al., 2016).

Ces principes fondamentaux font de la blockchain une technologie particulièrement robuste pour des applications nécessitant une grande sécurité et une meilleure transparence, comme les systèmes de paiement, les registres de titres de propriété, et autres applications nécessitant un enregistrement indélébile et vérifiable des données.

Mécanismes de consensus (Proof of Work, Proof of Stake, etc.)

Les mécanismes de consensus sont cruciaux dans la blockchain pour assurer une cohérence et intégrité irréprochable du registre distribué, surtout dans un environnement où aucun participant n'a autorité sur les autres. Chaque mécanisme de consensus présente des nuances distinctes qui affectent la sécurité, l'efficacité énergétique, et la gouvernance du réseau. Dans ce contexte, les validateurs jouent un rôle essentiel. Un validateur est un acteur du réseau blockchain chargé de vérifier et de valider les transactions avant de les ajouter à la blockchain. Ils garantissent que seules les transactions légitimes sont enregistrées, maintenant ainsi la sécurité et l'intégrité du réseau. Les validateurs sont incités à effectuer leur travail correctement par des récompenses sous forme de cryptomonnaie ou de frais de transaction, et peuvent être pénalisés en cas de comportement malveillant ou de validation incorrecte.

Proof of Work (PoW) est particulièrement célèbre pour son utilisation dans Bitcoin, la première cryptomonnaie. Dans PoW, les validateurs sont appelés mineurs. Les mineurs utilisent des machines spécialisées pour résoudre des puzzles cryptographiques difficiles. Ces puzzles requièrent un effort considérable de calcul et d'énergie, créant ainsi un "travail" qui prouve l'engagement du mineur à sécuriser le réseau. Le premier mineur qui résout le puzzle gagne le

droit d'ajouter un nouveau bloc à la blockchain et reçoit une récompense en monnaie du réseau, en plus des frais de transaction des transactions incluses dans le bloc. Le design de PoW vise à décourager les attaques en rendant prohibitif le coût nécessaire pour contrôler suffisamment de puissance de calcul afin de manipuler la blockchain. Pour réussir une attaque de 51%, un attaquant doit contrôler plus de la moitié de la puissance de calcul de tout le réseau, ce qui nécessiterait une immense quantité de ressources et serait facilement perceptible par les autres utilisateurs (Nakamoto, 2008).

Proof of Stake (PoS), quant à lui, cherche à résoudre le problème de la grande consommation d'énergie inhérente au PoW. Dans PoS, les validateurs sont appelés stakers. La capacité de valider des transactions et de créer des blocs n'est pas basée sur la puissance de calcul mais sur la quantité de monnaie qu'un participant détient et est prêt à "mettre en jeu" comme garantie. Les validateurs sont choisis en partie aléatoirement, mais avec une probabilité qui augmente avec la taille de leur enjeu. Cette méthode suppose que les détenteurs de grandes quantités de la monnaie ont un intérêt économique à maintenir un réseau sécurisé et stable. Si un validateur approuve des transactions frauduleuses, il risque de perdre une partie ou la totalité de son enjeu, fournissant ainsi un puissant dissuasif contre la malveillance. Le PoS améliore non seulement l'efficacité énergétique mais offre aussi une forme de sécurité économique contre les attaques, dissuadant la manipulation de la chaîne (Buterin, 2014).

Delegated Proof of Stake (DPoS) améliore encore le modèle PoS en introduisant un système démocratique où les détenteurs de tokens votent pour des représentants appelés délégués qui valident les transactions en leur nom. Ce modèle est souvent comparé à un système politique où les représentants sont responsables devant leurs électeurs. Les délégués qui agissent contre les intérêts de leurs électeurs peuvent être rapidement révoqués par un vote, garantissant que seuls les validateurs les plus fiables et efficaces restent en place. Cela permet non seulement de réduire le nombre de validateurs nécessaires, améliorant l'efficacité et la scalabilité du réseau, mais aussi d'incorporer un mécanisme de gouvernance transparent et responsable dans la blockchain (Larimer, 2014). Bien que ce système renforce l'efficacité et la gouvernance, il peut aussi conduire à une certaine recentralisation, contredisant ainsi l'objectif initial de décentralisation de la technologie blockchain.

Proof of Authority (PoA) est un mécanisme moins décentralisé adapté aux réseaux où la confiance est centralisée en quelques acteurs jugés fiables. Dans PoA, les validateurs sont des autorités préapprouvées par l'organisation à l'origine du réseau. Ces autorités sont généralement des entités ou individus de confiance qui ont été sélectionnés pour leur fiabilité

et leur réputation. Les validateurs dans PoA sont responsables de la sécurisation des transactions et de la création de blocs. Ce système est souvent utilisé dans des réseaux privés ou d'entreprise où la rapidité et l'efficacité sont prioritaires. Bien que le PoA offre une grande performance, il dépend fortement de la fiabilité et de l'intégrité des autorités validatrices, ce qui pourrait poser des risques en termes de centralisation et de manipulation (De Angelis et al., 2018).

Chiffrement et sécurité des données

Le chiffrement est essentiel pour la sécurisation des données au sein des blockchains. En utilisant des algorithmes de chiffrement avancés, chaque transaction insérée dans un bloc est sécurisée par des méthodes cryptographiques robustes qui garantissent la confidentialité, l'intégrité, et l'authenticité des informations. La signature numérique, utilisant la cryptographie asymétrique, est employée pour authentifier l'identité des parties impliquées dans les transactions tout en protégeant leurs informations privées. Cette méthode repose sur une paire de clés : une clé publique et une clé privée. La clé publique est accessible à tous les participants du réseau et est utilisée pour vérifier les signatures numériques, ainsi que pour chiffrer les informations destinées au détenteur de la clé privée correspondante. La clé privée, en revanche, est strictement confidentielle et connue uniquement de son propriétaire. Elle est utilisée pour signer les transactions, garantissant ainsi que la transaction provient bien du propriétaire de cette clé et pour déchiffrer les informations chiffrées avec la clé publique.

Un élément central de la sécurité des blockchains est l'utilisation du hashage cryptographique, notamment par l'algorithme SHA-256. SHA-256, qui signifie "Secure Hash Algorithm 256-bit", est utilisé pour créer une empreinte numérique unique de chaque bloc de transactions. Cet algorithme transforme les données de transaction en une série de chiffres et de lettres de longueur fixe, rendant extrêmement difficile, voire impossible, de retrouver les données originales à partir du hash seul (Narayanan et al., 2016). Cette propriété est cruciale pour garantir l'immutabilité des enregistrements dans la blockchain, chaque bloc étant lié au précédent par le hash du bloc précédent, formant ainsi une chaîne continue et sécurisée.

La gestion des clés et la protection des données contre les accès non autorisés restent des défis importants. Les systèmes de blockchain doivent non seulement défendre les données contre les attaques externes mais aussi mettre en place des mécanismes résistants pour la récupération des clés et la gestion des permissions, essentiels dans les situations où la sécurité est compromise (Hughes et al., 2019).

Ces mesures de chiffrement et de sécurité font de la blockchain une technologie privilégiée pour les applications nécessitant un haut niveau de sécurité, telles que les transactions financières, les dossiers médicaux, et les contrats intelligents, où la protection des données sensibles est une priorité. Par exemple, malgré les attaques de ransomware comme WannaCry et Petya qui ont exploité des vulnérabilités des systèmes traditionnels, la robustesse des blockchains réside dans leur capacité à protéger les données grâce à des mécanismes avancés de cryptographie et de gestion des clés. Toutefois, des incidents comme le hack de Mt. Gox, une plateforme d'échange de bitcoins qui a perdu environ 850 000 bitcoins à cause de failles de sécurité, montrent que, bien que la technologie blockchain elle-même soit sécurisée, les plateformes qui l'utilisent doivent également maintenir des normes élevées de sécurité pour protéger les actifs numériques.

2.1.3 Types de Blockchains

Blockchain publique

La blockchain publique est un type de blockchain qui fonctionne comme un grand livre ouvert, accessible à tout le monde sans restriction. Ce modèle de blockchain est entièrement décentralisé, ce qui signifie que le contrôle du réseau n'est détenu par aucune entité centrale, mais est réparti parmi tous les participants. Les nœuds du réseau, qui sont des ordinateurs connectés à la blockchain, conservent chacun une copie complète du grand livre. Ils ont le droit de valider les transactions, d'ajouter des blocs et de consulter l'historique complet des transactions. Cette structure favorise un niveau élevé de transparence et de sécurité (Nakamoto, 2008).

Bitcoin, la première cryptomonnaie mise en œuvre, est l'exemple le plus emblématique de blockchain publique. Elle utilise le mécanisme de consensus Proof of Work pour sécuriser les transactions, ce qui nécessite que les mineurs utilisent une puissance de calcul substantielle pour résoudre des problèmes cryptographiques complexes afin de valider les transactions et de créer de nouveaux blocs (Bonneau et al., 2015). Cette méthode assure l'intégrité et la permanence des enregistrements, rendant extrêmement difficile toute tentative de fraude ou de modification rétroactive des données.

En plus de Bitcoin, d'autres cryptomonnaies comme Ethereum ont adopté le modèle de blockchain publique pour permettre non seulement les transactions monétaires mais aussi l'exécution de contrats intelligents et la création d'applications décentralisées. Ces fonctionnalités ont élargi l'utilité des blockchains publiques bien au-delà des simples transactions financières, ouvrant des perspectives dans des domaines tels que la gouvernance

numérique, la gestion de la chaîne d'approvisionnement et même le domaine artistique à travers les jetons non fongibles (NFT) (Buterin, 2014).

Cependant, la nature ouverte des blockchains publiques pose également des défis en termes de scalabilité et de consommation énergétique. Le besoin de consensus à travers un grand nombre de participants peut entraîner des ralentissements, comme observé avec le Bitcoin et Ethereum, particulièrement lors des périodes de forte activité du réseau (Deetman, 2016). De plus, la méthode Proof of Work est particulièrement critiquée pour sa consommation énergétique massive. Par exemple, en période de forte activité, la consommation énergétique du réseau Bitcoin peut atteindre jusqu'à 120 térawattheures (TWh) par an, comparable à la consommation énergétique de pays comme la Norvège ou l'Argentine. Cette consommation massive pousse la communauté à explorer des alternatives plus durables comme le Proof of Stake.

Malgré ces défis, la blockchain publique demeure une composante cruciale de l'architecture blockchain, réputée pour son ouverture et sa résilience. Les développeurs continuent de rechercher des améliorations en termes de performance et d'efficacité énergétique pour maintenir sa pertinence dans un environnement technologique en rapide évolution.

Blockchain privée

La blockchain privée est une configuration de réseau blockchain où l'accès est restreint à des participants spécifiquement autorisés par le gestionnaire du réseau. Typiquement administrées par des organisations ou des consortiums, ces blockchains permettent de contrôler étroitement qui peut effectuer des transactions, accéder aux données et participer à la maintenance du registre. Cette capacité de gestion permet d'optimiser les performances et la scalabilité, en raison du nombre limité de nœuds impliqués dans le processus de consensus, facilitant ainsi une plus grande rapidité de transaction par rapport aux réseaux publics (Androulaki et al., 2018).

Les entreprises privilégient souvent les blockchains privées pour des applications nécessitant une confidentialité accrue, une gouvernance interne et une sécurité contrôlée. Par exemple, dans les secteurs de la finance, de la santé et de la logistique, les blockchains privées sont utilisées pour sécuriser les échanges d'informations sensibles et pour automatiser les processus sans exposer les données à un réseau public plus large (Cachin, 2016). Ces réseaux permettent également aux entreprises de conformer leurs opérations blockchain à des normes réglementaires spécifiques, offrant une solution adaptée aux exigences strictes en matière de protection des données et de confidentialité.

Cependant, l'utilisation de blockchains privées soulève des questions quant à la centralisation et la confiance. Puisque la gestion du réseau est centralisée, la sécurité et la fiabilité dépendent fortement de l'organisation qui contrôle le réseau. Cette dépendance peut introduire des risques de sécurité si l'entité gestionnaire est compromise. De plus, alors que ces blockchains offrent des avantages en termes d'efficacité opérationnelle, elles ne bénéficient pas du même degré de résistance à la censure ou de décentralisation que les blockchains publiques.

Les blockchains privées requièrent donc une attention particulière en matière de conception et de mise en œuvre pour garantir qu'elles répondent aux besoins de sécurité, de performance et de conformité des organisations tout en minimisant les risques de centralisation excessive.

Blockchain de consortium

La blockchain de consortium, également connue sous le nom de blockchain semi-privée, est un type de blockchain où le processus de consensus est contrôlé par un groupe prédéfini d'entités ou d'organisations. Ce modèle combine des éléments des blockchains publiques et privées, en offrant une solution intermédiaire qui permet une collaboration accrue entre différentes parties tout en maintenant un niveau de contrôle sur qui peut participer au réseau (Androulaki et al., 2018).

Dans une blockchain de consortium, plusieurs organisations partagent les responsabilités de validation des transactions et de gestion du registre, ce qui contribue à une distribution du pouvoir et à une augmentation de la confiance entre les membres. Cette configuration est souvent utilisée par les banques, les compagnies d'assurance, et les entités gouvernementales qui souhaitent bénéficier des avantages de la technologie blockchain tout en gardant un contrôle sur la gouvernance et la sécurité du réseau (Vukolić, 2016).

Les mécanismes de consensus utilisés dans les blockchains de consortium peuvent varier, mais ils sont généralement conçus pour être plus rapides et moins consommateurs d'énergie que le Proof of Work utilisé dans les blockchains publiques. Par exemple, le modèle de consensus pourrait impliquer un système de vote ou un accord mutuel entre les parties prenantes pour valider les transactions, assurant ainsi que tous les membres sont équitablement représentés dans le processus de décision (Cachin et al., 2017).

Un avantage notable des blockchains de consortium est leur capacité à préserver la confidentialité tout en permettant une certaine transparence. Les données peuvent être partagées entre les membres autorisés sans être exposées au grand public, facilitant ainsi la collaboration inter-organisationnelle tout en protégeant les informations sensibles.

Cependant, les blockchains de consortium doivent également faire face à des défis, notamment en termes de gouvernance et de coordination entre les différents membres. La nécessité de parvenir à un consensus entre des entités multiples peut parfois ralentir la prise de décision et complexifier la gestion du réseau. De plus, les aspects de sécurité doivent être rigoureusement conçus pour éviter que des points de faiblesse au sein de l'un des membres ne compromettent l'ensemble du système.

Types de blockchain			
Critère	Blockchain Publique	Blockchain Privée	Blockchain de Consortium
Accès	Ouvert à tous	Restreint aux participants autorisés	Restreint aux membres du consortium
Contrôle	Décentralisé	Centralisé, contrôlé par une organisation	Partiellement décentralisé, contrôlé par un groupe d'organisations
Transparence	Complètement transparent, toutes les transactions sont visibles	Partiellement transparent, visible seulement par les participants	Partiellement transparent, visible seulement par les membres du groupe
Exemples	Bitcoin, Ethereum	Utilisation interne en entreprise	Partenariats inter-entreprises, réseaux bancaires
Avantages	Haute sécurité, transparence, résilience	Confidentialité accrue, gouvernance interne, sécurité contrôlée	Collaboration, confidentialité, efficacité énergétique
Défis	Scalabilité, consommation énergétique, complexité du consensus	Risques de centralisation, dépendance à l'organisation gestionnaire	Gouvernance complexe, coordination entre les membres

2.1.4 Caractéristiques Clés et Avantages Théoriques

Immutabilité

L'immutabilité est l'une des caractéristiques fondamentales de la blockchain qui la distingue des autres technologies de gestion de données. Elle désigne la capacité d'une blockchain à maintenir un registre de transactions qui ne peut être modifié une fois qu'une entrée a été inscrite et validée par le consensus du réseau. Cette propriété résulte de l'utilisation de hachages cryptographiques et de la structure de chaînage des blocs, où chaque bloc contient le hachage du bloc précédent, renforçant ainsi la sécurité de l'ensemble du registre (Narayanan et al., 2016).

L'immutabilité assure que les données enregistrées sur la blockchain sont définitives et inaltérables, ce qui est crucial pour des applications où la fiabilité et la véracité des informations sont essentielles. Par exemple, dans les systèmes de vote électronique, l'immutabilité permet de garantir que les votes enregistrés ne peuvent être modifiés ou effacés, offrant une méthode plus sûre et transparente pour compter et vérifier les votes (Bonneau et al., 2015).

De même, dans les secteurs financier et juridique, l'immutabilité offre un moyen de maintenir un historique clair et indiscutable des transactions et des contrats, facilitant la résolution des litiges et renforçant la confiance dans ces systèmes. Pour les entreprises, cela signifie aussi une réduction des risques de fraude et d'erreurs dans la tenue des registres, car les données une fois écrites sur la blockchain ne peuvent être altérées ni supprimées (Crosby et al., 2016).

Cependant, l'immutabilité peut aussi présenter des défis, notamment en termes de gestion des erreurs ou des modifications légitimes nécessaires à certaines informations. Dans ces cas, des mécanismes supplémentaires, tels que des contrats intelligents capables de gérer des conditions ou des exceptions spécifiques, doivent être conçus pour permettre une certaine flexibilité tout en préservant les propriétés de base de la blockchain.

En somme, l'immutabilité contribue de manière significative à la robustesse et à la sécurité des blockchains, en assurant que les données stockées sont permanentes et transparentes, ce qui en fait une technologie précieuse pour une multitude de domaines nécessitant une fiabilité et une vérification sans faille des informations enregistrées.

Décentralisation

La décentralisation est une caractéristique essentielle de la blockchain qui repose sur la dispersion du contrôle et de la gestion du réseau à travers de multiples nœuds indépendants, plutôt que de se concentrer dans les mains d'une entité unique. Cette structure distribuée est fondamentale pour le fonctionnement des blockchains, offrant une résistance accrue aux pannes et aux attaques centralisées, ainsi qu'une plus grande transparence et une réduction des points de défaillance uniques (Franco, 2014).

Dans une blockchain décentralisée, chaque participant, ou nœud, détient une copie du registre et participe au processus de validation des transactions selon les règles du protocole de consensus adopté par le réseau. Cette approche garantit qu'aucune partie unique ne peut contrôler ou manipuler les données enregistrées sur la blockchain, renforçant ainsi la sécurité et la fiabilité du système (Zheng et al., 2017).

La décentralisation permet également une collaboration équitable et transparente entre les parties prenantes, qui ne doivent pas nécessairement se faire confiance entre elles. Par exemple, dans des applications telles que la finance décentralisée (DeFi) ou les chaînes d'approvisionnement, la blockchain facilite des interactions sécurisées et directes entre les parties sans la nécessité d'intermédiaires, réduisant ainsi les coûts et les délais de transaction (Tapscott & Tapscott, 2016).

Cependant, la décentralisation peut aussi introduire des défis, tels que la difficulté de mise à l'échelle du réseau et des vitesses de transaction potentiellement plus lentes comparées aux systèmes centralisés. De plus, la nécessité d'atteindre un consensus peut parfois mener à des désaccords entre les nœuds, ce qui peut ralentir les décisions ou les mises à jour du système (Vukolić, 2016).

En dépit de ces défis, la décentralisation reste une propriété valorisée pour les innovations qu'elle permet en termes de sécurité, de transparence et d'efficacité dans la gestion des données. Elle continue de jouer un rôle crucial dans l'adoption et l'adaptation de la blockchain à divers domaines, allant de la finance à la gouvernance et au-delà.

Transparence et traçabilité

La transparence et la traçabilité sont des aspects cruciaux de la blockchain qui contribuent de manière significative à son adoption dans divers secteurs. La transparence, dans le contexte de la blockchain, signifie que toutes les transactions enregistrées sur la blockchain sont accessibles à tous les participants du réseau. Cette visibilité complète garantit que les actions effectuées sur le réseau peuvent être vérifiées par n'importe quel utilisateur, renforçant ainsi la confiance dans le système et facilitant la responsabilité des acteurs impliqués (Swan, 2015).

La traçabilité, d'autre part, se réfère à la capacité de suivre l'historique des transactions ou des actifs sur la blockchain. Chaque transaction est enregistrée de manière chronologique et immuable, permettant à quiconque de suivre le chemin complet d'un actif ou d'une donnée depuis son origine jusqu'à son état actuel. Cette fonctionnalité est particulièrement utile dans des domaines tels que la chaîne d'approvisionnement, où il est essentiel de pouvoir vérifier l'authenticité et la provenance des produits (Christidis & Devetsikiotis, 2016).

La combinaison de la transparence et de la traçabilité dans la blockchain offre une robuste assurance de l'intégrité des données, ce qui est particulièrement bénéfique pour les applications nécessitant une grande précision des données et une auditabilité, comme dans le secteur financier, les registres gouvernementaux, ou les industries réglementées. Par exemple, dans le

secteur financier, la blockchain peut aider à prévenir les fraudes et à garantir la conformité réglementaire en fournissant un enregistrement précis et incontestable de toutes les transactions financières (Crosby et al., 2016).

Toutefois, il est important de noter que la transparence peut aussi soulever des questions de confidentialité, particulièrement dans les applications où les informations sensibles doivent être protégées. Les développeurs de blockchain doivent donc trouver un équilibre entre la transparence et la protection des données personnelles, en employant des techniques comme le chiffrement ou des contrats intelligents configurés pour gérer l'accès aux données (Zheng et al., 2017).

En définitive, la transparence et la traçabilité sont des attributs fondamentaux qui augmentent non seulement la confiance des utilisateurs dans la blockchain, mais offrent également des moyens efficaces pour l'audit et la conformité, tout en nécessitant des considérations soigneuses concernant la confidentialité des données.



2.2 Technologie et Infrastructure

2.2.1 Infrastructures et Plateformes de Développement

Ethereum

Ethereum, lancé en 2015 par Vitalik Buterin, est une plateforme blockchain innovante qui se distingue de Bitcoin par ses fonctionnalités étendues au-delà de la simple monnaie numérique. Contrairement à Bitcoin, qui a été conçu principalement comme un système de paiement

numérique peer-to-peer, Ethereum permet le développement d'applications décentralisées (DApps) à travers l'utilisation de contrats intelligents. Ces contrats sont des scripts qui s'exécutent automatiquement sur la blockchain lorsque des conditions prédéfinies sont remplies, permettant une multitude de fonctions au-delà des transactions financières (Buterin, 2014).

L'une des innovations majeures d'Ethereum est la Machine Virtuelle Ethereum (EVM), qui facilite l'exécution de code complexe sur la blockchain. Cela a ouvert la voie à des applications variées dans des domaines tels que la finance décentralisée, la gestion de la chaîne d'approvisionnement, et le vote électronique, entre autres. Contrairement à Bitcoin, qui utilise un langage de script limité, l'environnement programmable d'Ethereum permet une plus grande flexibilité et interactivité avec ses applications (Wood, 2014).

Ethereum a également évolué pour adopter un mécanisme de consensus de preuve d'enjeu (Proof of Stake - PoS) avec la mise en œuvre d'Ethereum 2.0. Cette mise à jour, qui est pleinement opérationnelle depuis son déploiement, vise à améliorer l'efficacité énergétique du réseau et à accroître sa scalabilité. Cette transition marque une évolution significative par rapport à l'ancien mécanisme de PoW, répondant aux préoccupations environnementales tout en offrant une capacité de traitement des transactions plus rapide et plus économique (Buterin, 2020).

En résumé, Ethereum est devenu un acteur clé dans le domaine de la blockchain, favorisant l'innovation et l'expansion des applications de cette technologie bien au-delà de ses origines financières. Avec Ethereum 2.0, la plateforme continue de jouer un rôle prépondérant dans la promotion de solutions blockchain durables et évolutives.

Hyperledger

Hyperledger est une initiative de la Linux Foundation créée en 2015, destinée à développer des technologies blockchain adaptées aux besoins des entreprises (Hyperledger, 2021). À la différence des blockchains publiques comme Bitcoin ou Ethereum, Hyperledger se concentre sur les blockchains privées et permissionnées, où l'accès est limité à des participants spécifiquement autorisés, offrant ainsi un environnement sécurisé et efficace pour les transactions d'affaires (Androulaki et al., 2018).

L'écosystème Hyperledger comprend plusieurs projets, dont Hyperledger Fabric et Hyperledger Sawtooth, chacun répondant à des utilisations spécifiques et permettant aux entreprises d'adapter la technologie à leurs besoins particuliers. Hyperledger Fabric est particulièrement notable pour sa modularité et sa capacité à supporter divers mécanismes de consensus, ce qui

le rend idéal pour des applications nécessitant une grande confidentialité des données (Cachin, 2016).

Hyperledger Sawtooth, quant à lui, utilise un mécanisme de consensus innovant appelé Proof of Elapsed Time (PoET), qui se veut une alternative énergétiquement efficace aux processus traditionnels de preuve de travail utilisés dans d'autres systèmes de blockchain (Knirsch et al., 2018). Ce projet est conçu pour être évolutif et sécurisé, adapté aux grands réseaux d'entreprise.

Hyperledger a rapidement évolué pour devenir un acteur clé dans le domaine de la blockchain pour les entreprises, en se concentrant sur l'amélioration de la performance, de la sécurité et de la compatibilité inter-plateformes pour répondre aux exigences strictes des environnements commerciaux (Vukolić, 2017).

Autres plateformes émergentes

Au-delà de Hyperledger, le paysage des technologies blockchain est riche de nombreuses autres plateformes émergentes qui apportent des innovations spécifiques et visent à résoudre des problèmes distincts dans divers domaines. Parmi ces plateformes, on trouve Cardano, Polkadot, et Solana, chacune offrant des caractéristiques uniques qui les distinguent au sein de l'écosystème blockchain.

Cardano est souvent saluée pour son approche fondée sur la recherche académique et son processus de développement rigoureux. Contrairement à d'autres plateformes qui privilégient le développement rapide, Cardano adopte une méthodologie systématique avec un fort accent sur la sécurité et la durabilité de son architecture blockchain. Cette plateforme utilise un mécanisme de consensus appelé Ouroboros, un algorithme de preuve d'enjeu qui est considéré comme plus économe en énergie par rapport à la preuve de travail utilisée par Bitcoin (Kiayias et al., 2017).

Polkadot, de son côté, se distingue par son infrastructure qui permet une interopérabilité transparente entre différentes blockchains. Elle offre un cadre où diverses blockchains peuvent communiquer et transférer des données et des valeurs de manière sécurisée sans nécessiter de tiers de confiance. Ce système, appelé parachains, est conçu pour faciliter l'évolutivité et permettre une personnalisation poussée, répondant ainsi aux besoins de divers projets blockchain sans compromettre leur sécurité (Wood, 2020).

Solana se fait remarquer par sa vitesse de transaction exceptionnelle et son haut débit, rendus possibles par son innovation en matière de consensus appelée Proof of History (PoH). PoH est une approche qui permet de créer une séquence historique des événements qui prouve que les

transactions ont eu lieu à un moment précis. Cette fonctionnalité fait de Solana une plateforme idéale pour les applications nécessitant une grande rapidité comme les échanges de cryptomonnaies en temps réel et les jeux en ligne (Yakovenko, 2018).

Ces plateformes, par leurs approches uniques et leurs fonctionnalités spécifiques, contribuent à une diversification et à une spécialisation croissante de l'usage de la blockchain. Chacune répond à des défis particuliers de performance, d'interopérabilité et de consommation énergétique, offrant ainsi de nouvelles possibilités pour l'adoption de la blockchain dans des applications allant bien au-delà des finances et des cryptomonnaies.

2.3 Concepts Avancés et Innovations

2.3.1 Contrats Intelligents (Smart Contracts)

Fonctionnement et utilisation

Les contrats intelligents, ou "smart contracts", représentent l'une des innovations les plus significatives introduites par la technologie blockchain. Ils consistent en des programmes autonomes qui exécutent automatiquement les conditions codées d'un contrat dès que les critères prédéfinis sont rencontrés. Ces programmes informatiques fonctionnent sur la blockchain, offrant ainsi une transparence totale, une réduction des coûts transactionnels et une exécution sans intermédiaire (Christidis & Devetsikiotis, 2016).

Le fonctionnement des contrats intelligents repose sur un principe simple : les termes du contrat sont écrits sous forme de code dans la blockchain. Une fois que les conditions codées sont vérifiées et validées par le réseau, le contrat s'exécute de manière autonome pour effectuer la transaction ou l'action spécifiée. Cela peut inclure le transfert de fonds, la libération de documents, ou l'exécution d'autres actions contractuelles automatiquement sans l'intervention humaine (Szabo, 1997).

Les contrats intelligents sont principalement utilisés sur des plateformes comme Ethereum, qui a été la première à les mettre en œuvre à grande échelle. Ethereum utilise un langage de programmation appelé Solidity pour écrire ces contrats. Solidity est conçu spécifiquement pour créer des contrats intelligents qui sont à la fois sécurisés et performants, exploitant la capacité de la blockchain à agir comme un registre inaltérable et vérifiable (Buterin, 2014).

L'utilisation des contrats intelligents s'étend à de nombreux domaines allant de la finance décentralisée à la gestion de la chaîne d'approvisionnement, en passant par les jeux en ligne et les marchés de prédiction. Ils permettent des transactions plus rapides, réduisent les risques de

manipulation et d'erreur, et garantissent l'exécution du contrat tel que convenu, sans nécessité de faire appel à des tiers de confiance (Atzei, Bartoletti, & Cimoli, 2017).

Langages de programmation (Solidity, Vyper)

Les langages de programmation jouent un rôle central dans le développement et la mise en œuvre des contrats intelligents sur les plateformes blockchain. Solidity et Vyper sont deux des langages les plus couramment utilisés pour la rédaction de contrats intelligents, en particulier sur la plateforme Ethereum. Chacun de ces langages offre des fonctionnalités distinctes qui les rendent adaptés à des usages spécifiques dans l'écosystème des contrats intelligents.

Solidity est le langage de programmation le plus reconnu et utilisé pour écrire des contrats intelligents sur Ethereum. Conçu pour être à la fois accessible et robuste, Solidity est un langage orienté objet qui ressemble à JavaScript et est statiquement typé. Il permet aux développeurs de créer des contrats pour des loteries, des systèmes de vote, et des plateformes de crowdfunding, entre autres applications décentralisées. Solidity est conçu pour compiler le code en bytecode, qui peut ensuite être exécuté sur l'Ethereum Virtual Machine (EVM) (Wood, 2014).

Vyper, d'autre part, est un langage de programmation émergent qui a été développé pour offrir une alternative plus sécurisée à Solidity. Vyper élimine plusieurs fonctionnalités de Solidity qui sont souvent la source de bugs, telles que les modifications de type, l'héritage et les opérateurs en ligne. Son objectif principal est de fournir un langage de programmation qui rend les contrats intelligents plus faciles à comprendre et plus transparents, ce qui réduit la probabilité d'erreurs subtiles et augmente la sécurité des contrats. Vyper est fortement influencé par Python, ce qui le rend particulièrement attractif pour les développeurs qui privilégient la lisibilité et la simplicité du code (Vyper, 2021).

L'utilisation de Solidity et de Vyper dans la rédaction de contrats intelligents souligne l'importance de la sécurité, de l'efficacité et de la prévisibilité dans les applications blockchain. Chaque langage a ses propres avantages et inconvénients, ce qui nécessite des choix stratégiques de la part des développeurs en fonction du contexte spécifique de leur projet et des exigences de sécurité associées (Hildenbrandt et al., 2018).

2.3.2 Tokenisation et Représentation des Actifs

Principes de tokenisation

La tokenisation sur la blockchain transforme les droits d'un actif tangible ou financier en un format numérique, généralement sous la forme de jetons (tokens), permettant ainsi une manipulation et une transaction efficaces sur des plateformes numériques. Ce processus

révolutionne la manière dont les actifs sont perçus et gérés en décomposant des actifs de grande valeur en unités plus petites qui peuvent être négociées facilement. Par exemple, un seul immeuble de grande valeur peut être divisé en plusieurs jetons numériques, chacun représentant une fraction de l'immeuble, rendant ainsi l'investissement accessible à des investisseurs qui ne pourraient pas se permettre d'acheter l'immeuble entier (Tapscott & Tapscott, 2016).

La blockchain sert de registre décentralisé pour toutes les transactions associées à ces jetons, offrant une immutabilité et une transparence qui sont essentielles pour la sécurité et la fiabilité des échanges numériques. Chaque transaction ou transfert de jetons est enregistré sur la blockchain, assurant ainsi que toutes les informations concernant la propriété et les transactions sont non seulement sécurisées mais aussi inaltérables et vérifiables publiquement (Crosby et al., 2016). Cette fonctionnalité est cruciale dans des domaines où la sécurité et la clarté des droits de propriété sont de la plus haute importance.

Implications Théoriques de la Tokenisation

La tokenisation influence profondément les principes économiques traditionnels en introduisant une nouvelle façon de conceptualiser et de gérer la propriété des actifs. La capacité de diviser des actifs en multiples jetons numériques ouvre des marchés à des segments plus larges de la population, ce qui pourrait conduire à une distribution plus équitable des richesses et à des opportunités d'investissement diversifiées (De Filippi & Wright, 2018). Cette démocratisation de l'investissement pourrait potentiellement réduire les inégalités économiques en permettant à des individus de milieux moins privilégiés d'accéder à des actifs de valeur qui étaient auparavant hors de portée.

Toutefois, la tokenisation soulève également d'importantes questions réglementaires et légales. Les cadres réglementaires actuels ne sont souvent pas adaptés pour gérer la complexité et la nouveauté des actifs numériques générés par la tokenisation. Les législateurs et les autorités de régulation doivent donc envisager de nouvelles lois et réglementations pour encadrer la propriété, la vente et l'échange de jetons numériques, en veillant à protéger à la fois les investisseurs et l'intégrité du marché (Yermack, 2017).

2.4 Applications Décentralisées (DApps)

2.4.1 Introduction aux DApps

Les applications décentralisées, ou DApps, sont des applications qui fonctionnent sur une blockchain au lieu de serveurs centralisés contrôlés par une seule entité ou organisation. Ces applications tirent parti de la technologie des contrats intelligents, principalement sur des

plateformes comme Ethereum, pour automatiser et exécuter des transactions et des interactions au sein de leur environnement sans l'intervention d'une autorité centrale. Contrairement aux applications traditionnelles, les DApps offrent un niveau de transparence, de sécurité et de résistance à la censure nettement supérieur car elles sont soutenues par la nature décentralisée de la blockchain, où les données et les opérations sont distribuées et maintenues par un réseau de nœuds participants (Christidis & Devetsikiotis, 2016).

La distinction principale entre les DApps et les applications traditionnelles réside dans leur architecture de réseau. Les applications traditionnelles sont souvent hébergées sur des serveurs centralisés, où une seule entité contrôle l'ensemble de l'application, y compris les données des utilisateurs. Cette configuration peut présenter des vulnérabilités en termes de sécurité et de confidentialité, puisque le contrôle centralisé peut être une cible pour les attaques informatiques, et les opérateurs peuvent abuser de leur accès aux données des utilisateurs. En revanche, les DApps fonctionnent sur une infrastructure décentralisée sans point central de contrôle, répartissant ainsi les données et les processus sur plusieurs nœuds dans le réseau blockchain, ce qui réduit les risques de points de défaillance uniques et les opportunités de manipulation ou de contrôle abusif (Huckle et al., 2016).

En outre, les DApps utilisent des jetons et des mécanismes d'incitation intégrés pour encourager divers comportements au sein de leur écosystème. Ces jetons peuvent servir à récompenser les utilisateurs qui contribuent à la sécurité, à l'opérabilité ou à la croissance de l'application, ce qui diffère des modèles économiques des applications traditionnelles qui reposent souvent sur la publicité ou la vente directe de services. Cette approche économique intégrée contribue à un écosystème auto-soutenu où les utilisateurs ne sont pas seulement des consommateurs de service, mais des participants actifs à la plateforme.

2.4.2 Architecture et Fonctionnement des DApps

Les applications décentralisées, ou DApps, exploitent des blockchains comme Ethereum, EOS, ou Tron pour créer des systèmes décentralisés où les données et les opérations ne dépendent d'aucun serveur centralisé. Contrairement aux applications traditionnelles qui fonctionnent sur des architectures centralisées, les DApps s'appuient sur une combinaison de contrats intelligents et d'interfaces utilisateur qui interagissent directement avec la blockchain, offrant ainsi une transparence et une sécurité accrues.

Les contrats intelligents, qui sont des programmes stockés et exécutés sur la blockchain, constituent le cœur fonctionnel des DApps. Ces contrats automatisent les opérations en

exécutant du code de manière autonome en réponse à des interactions vérifiées. Ils sont écrits dans des langages spécifiques comme Solidity pour Ethereum, et une fois déployés sur la blockchain, ils opèrent sans l'intervention d'une autorité centrale, augmentant ainsi la sécurité et la fiabilité des applications (Antonopoulos & Wood, 2018).

L'interface utilisateur des DApps se connecte à ces contrats via des technologies comme Web3.js, une bibliothèque JavaScript qui permet à l'interface de communiquer avec la blockchain d'Ethereum. Cette connexion est essentielle pour permettre des interactions fluides et sécurisées entre les utilisateurs et les applications décentralisées, assurant que toutes les transactions et modifications d'état sont immédiatement reflétées et enregistrées sur la blockchain (Christidis & Devetsikiotis, 2016).

Différentes architectures de DApps sont utilisées selon les exigences spécifiques de l'application. Par exemple, les DApps de finance décentralisée utilisent des architectures complexes pour gérer et automatiser des transactions financières sur la blockchain, tandis que les DApps ludiques, comme CryptoKitties, utilisent la blockchain pour suivre la propriété et les attributs de biens virtuels uniques, permettant aux utilisateurs d'échanger et d'interagir avec ces actifs de manière sécurisée et transparente (Huckle et al., 2016).

L'approche décentralisée des DApps offre non seulement une plus grande résistance aux attaques et aux pannes en éliminant les points de défaillance unique, mais elle améliore également la confiance des utilisateurs, sachant que les données ne sont pas manipulées ni contrôlées par une seule entité. Cette nouvelle forme de construction d'applications promet de transformer divers secteurs en réduisant la dépendance aux intermédiaires et en permettant une interaction directe entre les parties (Tasca & Aste, 2021).

2.5 Défis Théoriques et Limitations

2.5.1 Limitations Inhérentes à la Technologie

Limites de scalabilité

La scalabilité est souvent citée comme une limitation majeure de la technologie blockchain, particulièrement perceptible dans des systèmes comme Bitcoin et Ethereum. Ces plateformes sont confrontées à un problème significatif : elles ne peuvent traiter qu'un nombre limité de transactions par seconde. Par exemple, Bitcoin traite environ 7 transactions par seconde, tandis qu'Ethereum en gère environ 15 à 25. À titre de comparaison, des réseaux de paiement traditionnels tels que Visa peuvent traiter plus de 1700 transactions par seconde (Croman et al., 2016).

Cette limitation en termes de scalabilité découle de plusieurs facteurs intrinsèques à la conception de la plupart des blockchains. Premièrement, le mécanisme de consensus par PoW est énergivore et lent, car il requiert une grande quantité de puissance de calcul pour valider les transactions et miner de nouveaux blocs. Chaque transaction doit être vérifiée par un consensus du réseau avant d'être confirmée, ce qui assure la sécurité et la résistance à la fraude mais au prix de la rapidité et de l'efficacité (Narayanan et al., 2016).

De plus, la taille fixe des blocs dans des chaînes comme celle de Bitcoin limite le nombre de transactions qui peuvent être traitées dans chaque bloc. Par exemple, la taille limite d'un bloc de Bitcoin est de 1 Mo, ce qui contraint le nombre de transactions qui peuvent être incluses dans un bloc et donc le débit global du système. Cette limite de taille de bloc a été source de débats importants dans la communauté Bitcoin, menant à des propositions et des scissions de la chaîne, telles que la création de Bitcoin Cash, qui a augmenté la taille de ses blocs pour améliorer la scalabilité.

Les chercheurs et développeurs ont exploré plusieurs solutions pour surmonter ces problèmes de scalabilité. Une approche populaire est l'implémentation de solutions de seconde couche, comme le Lightning Network pour Bitcoin, qui permet de réaliser des transactions en dehors de la blockchain principale, réduisant ainsi la charge sur celle-ci. Ces transactions hors chaîne peuvent être traitées rapidement et en grand nombre, puis regroupées et ancrées à la blockchain principale périodiquement (Poon & Dryja, 2016).

D'autres propositions incluent des changements dans les algorithmes de consensus, comme le passage de la preuve de travail à la preuve d'enjeu (PoS), qui est moins énergivore et peut potentiellement traiter des transactions plus rapidement. Par exemple, Ethereum a achevé sa transition vers un mécanisme PoS avec la mise en œuvre complète d'Ethereum 2.0, maintenant connu sous le nom de consensus layer. Cette mise à jour significative visait à résoudre les problèmes de scalabilité et à réduire l'empreinte carbone de la plateforme, marquant un développement majeur dans l'effort continu pour améliorer les performances des blockchains tout en minimisant leur impact environnemental (Buterin, 2020).

Problèmes de latence et de performance

Les problèmes de latence et de performance constituent des défis cruciaux pour la technologie blockchain, affectant directement son efficacité et sa viabilité pour des applications en temps réel ou pour des transactions nécessitant une confirmation rapide. Ces limitations sont

intrinsèques aux mécanismes de conception et de fonctionnement des blockchains actuelles, en particulier celles qui utilisent un mécanisme de consensus de PoW.

La latence dans les blockchains peut être définie comme le délai entre l'envoi d'une transaction et sa confirmation finale sur la blockchain. Pour des blockchains comme Bitcoin, ce délai peut varier considérablement, parfois prenant jusqu'à une heure ou plus durant des périodes de forte congestion du réseau. Ce niveau de latence est inacceptable pour des applications nécessitant des temps de réponse rapides, comme les systèmes de paiement électroniques ou les applications de trading en temps réel (Eyal & Sirer, 2018).

La performance globale de la blockchain est également impactée par plusieurs facteurs, notamment la taille du réseau, le nombre de transactions simultanées, et la capacité de traitement de chaque nœud participant. À mesure que le nombre de transactions augmente, la charge sur chaque nœud s'accroît, ce qui peut entraîner des ralentissements si le matériel n'est pas suffisamment puissant ou si le logiciel n'est pas optimal. De plus, la taille croissante de la blockchain elle-même pose des défis en termes de stockage et de synchronisation des données, surtout pour les nouveaux nœuds entrant dans le réseau (Croman et al., 2016).

Des études académiques ont exploré diverses solutions pour atténuer ces problèmes de latence et de performance. L'une des approches est l'amélioration des algorithmes de consensus, tels que la preuve d'enjeu (PoS), qui peuvent offrir des temps de confirmation plus rapides et réduire la charge sur le réseau en limitant le nombre de nœuds participant à la validation de chaque transaction (Kiayias et al., 2017). Des solutions de seconde couche, comme les réseaux de canaux de paiement ou les sidechains, sont également envisagées pour permettre des transactions hors chaîne, accélérant les transactions en réduisant leur dépendance à la chaîne principale pour chaque opération.

Ces problèmes et solutions associés à la latence et à la performance des blockchains sont cruciaux pour comprendre les limites actuelles de cette technologie et les directions futures de la recherche et du développement dans ce domaine.

2.5.2 Questions de Sécurité et de Vulnérabilité

Attaques courantes et défenses

Parmi les attaques les plus notables contre les blockchains figurent les attaques de 51%, où un acteur ou un groupe d'acteurs contrôle plus de 50% de la puissance de calcul du réseau. Cette majorité permet aux attaquants de réécrire les événements de la chaîne, de double dépenser des monnaies et de bloquer les transactions d'autres utilisateurs. Bien que principalement théorique

pour des réseaux comme Bitcoin en raison de leur grande taille et de leur répartition de la puissance de hachage, cette attaque reste une préoccupation majeure pour les blockchains plus petites ou moins sécurisées (Eyal & Sirer, 2018).

Les attaques par déni de service (DoS) ciblent également les blockchains, souvent par le biais de contrats intelligents mal conçus qui peuvent être exploités pour exécuter des boucles infinies ou pour consommer des ressources de calcul de manière excessive, épuisant ainsi les ressources du réseau. Par exemple, Ethereum a été la cible de plusieurs attaques DoS importantes qui ont exploité les vulnérabilités des contrats intelligents pour ralentir ou même arrêter le réseau (Atzei, Bartoletti, & Cimoli, 2017).

En réponse à ces menaces, diverses stratégies de défense ont été développées. Pour contrer les attaques de 51%, des mécanismes tels que la preuve d'enjeu (PoS) et la délégation de preuve d'enjeu (DPoS) ont été proposés et implémentés dans des blockchains modernes. Ces mécanismes réduisent la possibilité d'une telle attaque en décentralisant la distribution du pouvoir de décision et en rendant l'attaque nettement plus coûteuse pour l'attaquant (Kiayias et al., 2017).

Pour améliorer la résilience contre les attaques DoS, des limites de gaz et des coûts de transaction ajustables ont été introduits, permettant aux réseaux comme Ethereum de mieux gérer les pics de demande et d'empêcher l'exploitation des failles des contrats intelligents. De plus, l'analyse continue des contrats intelligents et la vérification formelle sont encouragées pour identifier et corriger les vulnérabilités avant qu'elles ne soient exploitées.

Cas de défaillance et critiques

Les cas de défaillance dans les technologies blockchain illustrent certaines des critiques majeures et des limitations de cette technologie, soulignant des questions importantes concernant la sécurité, la scalabilité et la gouvernance. Bien que les blockchains soient souvent vantées pour leur robustesse et leur immuabilité, elles ne sont pas à l'abri de vulnérabilités et de défaillances.

Un incident notable est le piratage de la DAO (Decentralized Autonomous Organization) sur Ethereum en 2016. Ce piratage a exploité une vulnérabilité dans le code du contrat intelligent de la DAO, permettant au pirate de détourner environ 50 millions de dollars en Ether. Cet événement a non seulement conduit à des pertes financières substantielles mais a également engendré une scission controversée de la blockchain Ethereum, mettant en évidence des

problèmes de sécurité dans la conception des contrats intelligents et posant des questions sur la meilleure façon de résoudre de telles failles dans un cadre décentralisé (DuPont, 2017).

Un autre exemple de défaillance technique concerne les problèmes de congestion du réseau. Lorsque le jeu CryptoKitties est devenu populaire en 2017, il a provoqué une congestion significative sur le réseau Ethereum, révélant les limites de la plateforme en termes de capacité à gérer un grand nombre de transactions simultanément. Cette congestion a entraîné des retards importants dans le traitement des transactions et une augmentation des coûts de gas, mettant en lumière la nécessité de solutions de scalabilité améliorées pour les blockchains (Wang et al., 2019).

En outre, la blockchain est souvent critiquée pour sa consommation énergétique intensive, en particulier les mécanismes de consensus basés sur la preuve de travail, comme ceux utilisés par Bitcoin. La quantité d'énergie requise pour maintenir ces réseaux est considérable et soulève des inquiétudes environnementales importantes. Cette consommation excessive d'énergie est un sujet de débat continu au sein de la communauté et parmi les observateurs extérieurs, qui questionnent la viabilité à long terme de telles approches (Vranken, 2017).

Les mécanismes de gouvernance des blockchains décentralisées posent également problème. Les structures de gouvernance dans les réseaux blockchain peuvent conduire à des impasses ou à des décisions inefficaces, surtout lorsque les participants ont des intérêts divergents. Ces défis de gouvernance sont cruciaux car ils affectent la capacité du réseau à évoluer et à adopter des améliorations nécessaires en réponse aux défis technologiques et opérationnels (De Filippi & Loveluck, 2016).

2.5.3 Problèmes Éthiques et Légaux

Questions de confidentialité

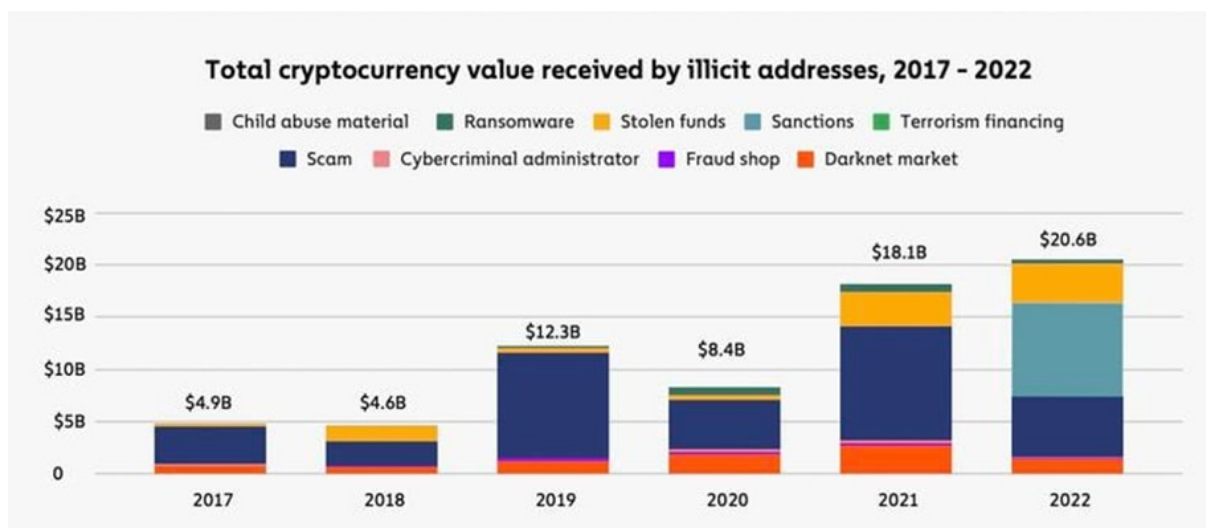
La nature même de la blockchain, qui enregistre de manière permanente toutes les transactions sur un registre public et immuable, pose un défi particulier pour la confidentialité des données. Dans les blockchains publiques, chaque transaction est visible par tous les utilisateurs du réseau, ce qui peut exposer des informations personnelles si elles ne sont pas correctement anonymisées. Par exemple, bien que les adresses de portefeuille Bitcoin ne contiennent pas d'informations personnelles directement identifiables, l'activité transactionnelle associée à ces adresses peut être analysée pour révéler des modèles de dépenses, des interactions et potentiellement l'identité des parties concernées si des données supplémentaires sont disponibles (Reid & Harrigan, 2013).

De plus, la capacité de voir l'historique complet de toutes les transactions d'une adresse peut conduire à des risques de sécurité si des informations sensibles sont liées à ces transactions. Par exemple, dans le cas d'une organisation qui utilise la blockchain pour des transactions financières, la transparence des flux de fonds peut être exploitée par des concurrents ou des acteurs malveillants pour obtenir des avantages stratégiques.

Ces enjeux sont exacerbés par le fait que les données inscrites sur une blockchain ne peuvent pas être facilement modifiées ou supprimées, ce qui pose des défis supplémentaires en termes de conformité avec des réglementations sur la protection des données telles que le Règlement général sur la protection des données (RGPD) de l'Union européenne. Le RGPD, par exemple, accorde aux individus le "droit à l'oubli", qui entre en conflit avec la nature immuable des registres de blockchain, où supprimer des données personnelles après qu'elles ont été enregistrées peut-être techniquement difficile, voire impossible (Finck, 2018).

Considérations réglementaires et juridiques

La régulation de la blockchain est encore en phase de développement dans de nombreux pays, avec des approches variées en fonction des spécificités régionales et des applications de la technologie. Une des principales préoccupations est de savoir comment intégrer les systèmes de blockchain dans les cadres législatifs existants, notamment dans les domaines de la finance, de la protection des consommateurs, et de la sécurité des données. Par exemple, les cryptomonnaies basées sur la blockchain, comme Bitcoin et Ethereum, posent des questions sur la régulation financière, la lutte contre le blanchiment d'argent et le financement du terrorisme (De Filippi & Wright, 2018). Cependant, les études montrent que, bien que les cryptomonnaies soient parfois utilisées pour des activités illicites, leur utilisation pour le blanchiment d'argent reste relativement faible par rapport aux devises traditionnelles. En 2022, environ 0,24 % de toutes les transactions en cryptomonnaies étaient liées à des activités illicites. Cela représente environ 20,6 milliards USD d'un volume total de transactions en cryptomonnaies de 8,6 trillions USD (Chainalysis 2022 Crypto Crime Report). En comparaison, les Nations Unies estiment que 2-5 % du PIB mondial (environ 800 milliards à 2 000 milliards de dollars) est blanchi chaque année via les devises traditionnelles comme l'USD et l'euro (UNODC).



Source : https://go.chainalysis.com/rs/503-FAP-074/images/Crypto_Crime_Report_2023.pdf

Ces chiffres et comparaisons montrent que, bien que les cryptomonnaies présentent des défis uniques en termes de régulation, leur impact actuel sur les activités illicites est proportionnellement moins important que celui des devises traditionnelles.

Les autorités réglementaires doivent également aborder les aspects de la blockchain relatifs à la propriété et au transfert d'actifs numériques. La définition légale d'un "actif" sur une blockchain, qu'il s'agisse de cryptomonnaies, de jetons représentant des actifs physiques, ou de contrats intelligents, requiert des clarifications juridiques pour établir les droits et les responsabilités des parties impliquées. Cette clarification est cruciale pour le développement de marchés numériques et pour assurer que les transactions soient réalisées de manière sécurisée et conforme aux lois en vigueur (Werbach, 2018).

III. La blockchain dans le monde financier

3.1 Introduction à la blockchain dans le secteur financier

La blockchain a introduit une nouvelle ère dans le secteur financier, caractérisée par une évolution significative des pratiques de transaction et de gestion des données. Avec son adoption croissante, la technologie blockchain est en train de redéfinir les mécanismes de transaction financière en éliminant le besoin d'intermédiaires traditionnels, tels que les banques et autres institutions financières, ce qui révolutionne les opérations bancaires et la gestion d'actifs (Tapscott & Tapscott, 2016).

L'impact de la blockchain dans le secteur financier est particulièrement notable dans le domaine des paiements internationaux. Les transactions transfrontalières, qui impliquent traditionnellement des délais de traitement prolongés et des frais substantiels, bénéficient désormais de la rapidité et de la réduction des coûts offertes par la blockchain. Cette technologie permet de réaliser des transactions presque instantanées à un coût nettement inférieur, un avantage significatif dans un monde financier de plus en plus globalisé (Yermack, 2017).

De plus, la blockchain facilite la mise en œuvre de contrats intelligents qui automatisent l'exécution des accords financiers et garantissent l'exécution des termes contractuels sans intervention manuelle. Ces contrats intelligents offrent une sécurité améliorée et réduisent les risques de non-conformité ou de fraude, permettant ainsi une confiance accrue et une efficacité opérationnelle dans les transactions financières (Crosby et al., 2016).

La transparence inhérente à la blockchain est un autre avantage significatif pour le secteur financier. Elle assure que toutes les transactions sont immuables et visibles pour tous les participants, ce qui améliore la surveillance réglementaire et la conformité tout en réduisant les possibilités de corruption et de fraude (Tapscott & Tapscott, 2016).

En somme, la blockchain transforme le secteur financier en rationalisant les opérations, en réduisant les coûts, et en améliorant à la fois la transparence et la sécurité. Cette technologie promet de soutenir le développement de solutions financières plus efficaces et plus équitables, redéfinissant les pratiques financières traditionnelles dans un environnement économique mondial en constante évolution.

3.1.1 Contexte et évolution

Dans le contexte de l'évolution rapide des technologies financières, la blockchain émerge comme une force perturbatrice majeure, redéfinissant la manière dont les transactions sont traitées et les données sont gérées dans le secteur financier. Ce contexte dynamique est

caractérisé par une demande croissante d'efficacité, de sécurité et de transparence dans les opérations financières mondiales.

L'évolution de la blockchain dans le secteur financier est le résultat d'une combinaison de facteurs technologiques, économiques et réglementaires. Tout d'abord, l'avènement de la technologie blockchain a été rendu possible par des progrès significatifs dans le domaine de la cryptographie et de la sécurité informatique, permettant la création de réseaux décentralisés et sécurisés où les transactions peuvent être vérifiées et enregistrées de manière immuable (Swan, 2015).

Sur le plan économique, la recherche de solutions plus efficaces et moins coûteuses pour les transactions financières a alimenté l'intérêt pour la blockchain. Les inefficacités et les coûts élevés associés aux systèmes financiers traditionnels ont incité les acteurs du secteur à explorer de nouvelles technologies pour rationaliser les processus et réduire les frais (Narayanan et al., 2016).

Enfin, sur le plan réglementaire, l'émergence de la blockchain pose des défis et des opportunités pour les autorités de régulation financière.

Au fil du temps, la blockchain a évolué d'une technologie sous-jacente pour les cryptomonnaies à une solution plus large pour une gamme diversifiée d'applications financières. Cette évolution témoigne de la capacité de la blockchain à répondre aux besoins changeants du secteur financier dans un monde de plus en plus numérisé et interconnecté.

3.1.2 Enjeu actuel de la blockchain dans la finance

Dans le paysage financier contemporain, la blockchain représente un enjeu majeur, suscitant à la fois enthousiasme et préoccupation au sein de l'industrie. Son adoption croissante remet en question les modèles d'affaires traditionnels et pose des défis et des opportunités uniques pour les acteurs du secteur financier.

Un des principaux enjeux actuels de la blockchain dans la finance réside dans sa capacité à concilier l'innovation technologique avec les exigences réglementaires et les normes de conformité. Alors que la blockchain offre des avantages indéniables en termes de transparence, de sécurité et d'efficacité, elle soulève également des préoccupations en matière de protection des données, de confidentialité et de gouvernance (Böhme et al., 2015).

Un autre défi majeur est celui de l'interopérabilité entre les différentes plateformes et réseaux blockchain. Alors que de multiples initiatives émergent dans le domaine de la finance

décentralisée, la fragmentation du marché peut entraver l'adoption généralisée de la blockchain dans le secteur financier (Luu et al., 2016).

En outre, la blockchain remet en question le rôle traditionnel des institutions financières en tant qu'intermédiaires dans les transactions et les processus financiers. Si d'un côté elle offre la possibilité de contourner les frais et les délais associés aux intermédiaires, elle pose également des questions sur la stabilité du système financier et la protection des consommateurs (Yermack, 2017).

Enfin, un défi crucial est celui de l'éducation et de la sensibilisation des acteurs du secteur financier aux avantages et aux limites de la blockchain. Alors que la technologie évolue rapidement, il est essentiel que les professionnels de la finance comprennent les implications de la blockchain pour leurs activités et soient en mesure de prendre des décisions éclairées quant à son adoption (Swan, 2015).

En somme, l'enjeu actuel de la blockchain dans la finance réside dans sa capacité à surmonter les défis techniques, réglementaires et organisationnels pour réaliser son potentiel de transformation du secteur financier.

3.2 Avancées majeures apportées par la blockchain

3.2.1 Augmentation de la transparence

Dans le secteur financier, la blockchain a introduit des avancées majeures, révolutionnant les pratiques traditionnelles en matière de transaction et de gestion des données. Une de ces avancées significatives est l'augmentation de la transparence dans les opérations financières. La nature décentralisée de la blockchain permet une visibilité accrue sur les transactions, car chaque transaction est enregistrée de manière immuable et accessible à tous les participants autorisés (Nakamoto, 2008).

Cette transparence renforce la confiance entre les parties prenantes, réduisant ainsi le besoin de vérification externe. Contrairement aux systèmes financiers traditionnels où les informations peuvent être opaques ou sujettes à des manipulations, la blockchain offre un registre public et vérifiable de toutes les transactions, ce qui améliore la surveillance réglementaire et réduit les risques de fraude ou de malversation (Tapscott & Tapscott, 2016).

L'augmentation de la transparence favorise une concurrence plus équitable sur le marché financier. Les investisseurs et les participants du marché ont un accès égal aux informations, ce qui réduit les asymétries d'information et améliore l'efficacité des marchés. Cela peut également

conduire à une réduction des coûts de transaction, car les parties prenantes n'ont pas besoin de s'appuyer sur des tiers pour valider les transactions ou garantir l'intégrité des données (Yermack, 2017).

En outre, la transparence accrue de la blockchain peut contribuer à accroître la responsabilité des institutions financières. Les enregistrements immuables et accessibles publiquement peuvent servir de preuve vérifiable en cas de litige ou de besoin de vérification externe, renforçant ainsi la responsabilité et la conformité aux réglementations.

Cette évolution vers une plus grande transparence grâce à la blockchain représente un progrès significatif dans le secteur financier, offrant des avantages en termes de confiance, d'efficacité et de réduction des coûts de transaction. Elle ouvre également la voie à de nouvelles opportunités d'innovation et de développement dans un environnement financier de plus en plus complexe et interconnecté.

3.2.2 Amélioration de la sécurité

L'adoption de la blockchain dans le secteur financier est synonyme d'une amélioration substantielle de la sécurité, une préoccupation majeure pour les institutions manipulant des transactions et des données sensibles. La nature inhérente de la blockchain, avec son cryptage avancé et ses mécanismes de consensus, offre une barrière robuste contre les fraudes et les cyberattaques (Yermack, 2017).

La blockchain utilise également des signatures numériques pour assurer l'authenticité de chaque transaction. Chaque partie impliquée possède une paire de clés privée et publique, permettant non seulement de sécuriser les transactions mais aussi de vérifier l'identité des participants sans révéler d'informations sensibles. Cette méthode garantit que les transactions sont non seulement sécurisées, mais aussi clairement attribuables, ce qui est crucial pour prévenir et tracer les activités frauduleuses (Crosby et al., 2016).

De plus, l'utilisation de protocoles de consensus tels que la PoW ou la PoS augmente la sécurité en nécessitant des validations de transactions par plusieurs parties avant leur confirmation définitive. Ces mécanismes rendent les manipulations coûteuses et peu pratiques pour les acteurs malveillants, car ils nécessiteraient une quantité énorme de ressources pour réussir une attaque (Tapscott & Tapscott, 2016).

Enfin, la sécurité renforcée offerte par la blockchain a un impact profond sur la confiance que les consommateurs et les entreprises peuvent avoir dans les services financiers. En réduisant les

risques de fraudes et en assurant une plus grande intégrité des données, la blockchain permet une nouvelle ère de services financiers transparents et sécurisés, essentielle pour la croissance durable et l'innovation dans le secteur financier.

3.2.3 Réduction des coûts et de la complexité des transactions

La blockchain présente des avantages substantiels pour le secteur financier, notamment en termes de réduction des coûts et de la complexité des transactions. Cette technologie permet d'éliminer de nombreux intermédiaires traditionnels, tels que les banques, les notaires, et les agents de compensation, qui étaient autrefois nécessaires pour valider et finaliser les transactions financières (Catalini & Gans, 2021).

Les transferts de fonds internationaux illustrent parfaitement comment la blockchain réduit les coûts. Typiquement, ces transactions impliquent des frais de service élevés et des coûts cachés, comme les frais de conversion de devise. La blockchain permet des échanges directs entre les parties, sans les frais associés aux intermédiaires financiers, réduisant ainsi les coûts de transaction de manière significative (World Bank, 2021).

Les contrats intelligents, exécutés automatiquement sur des blockchains comme Ethereum, jouent un rôle crucial dans la réduction de la complexité des opérations financières. Ils permettent l'exécution automatique des accords financiers selon les conditions préétablies sans intervention humaine, réduisant ainsi les erreurs et les coûts de gestion (Zhang et al., 2022).

En outre, la gestion des titres est simplifiée grâce à la blockchain. Cette technologie offre une plateforme pour la tenue de registres immuable et transparente, réduisant ainsi les besoins en audit externe et en vérification, ce qui se traduit par une baisse des coûts administratifs pour les institutions financières et une plus grande efficacité dans la gestion des actifs (Schär, 2021).

Ces exemples montrent que la blockchain est non seulement une innovation technologique mais aussi un catalyseur d'efficacité financière, permettant aux institutions de réduire à la fois les coûts directs et indirects associés à leurs opérations.

3.3 Applications de la blockchain dans le secteur financier

3.3.1 Paiements internationaux

L'une des applications les plus notables de la blockchain dans le secteur financier concerne les paiements internationaux. Cette technologie révolutionne la manière dont les transactions transfrontalières sont effectuées, offrant une alternative plus rapide, moins coûteuse, et plus transparente aux systèmes traditionnels.

Traditionnellement, les paiements internationaux impliquent une série d'intermédiaires, chacun ajoutant du temps et des coûts supplémentaires à la transaction. Ces paiements peuvent prendre plusieurs jours pour être traités en raison des vérifications nécessaires réalisées par chaque intermédiaire bancaire. En revanche, la blockchain permet de réaliser des transactions presque en temps réel grâce à un réseau décentralisé qui ne dépend pas des horaires de travail des banques ni des différentes zones géographiques (Narayanan et al., 2016).

En utilisant la blockchain, chaque transaction est enregistrée sur un registre distribué, sécurisé par cryptographie, et immédiatement accessible à tous les participants du réseau. Cela élimine le besoin de validation par des tiers, réduisant ainsi les coûts et les délais associés aux transferts d'argent internationaux (Tapscott & Tapscott, 2016). De plus, la nature transparente de la blockchain assure que toutes les parties ont accès aux mêmes informations, réduisant ainsi les risques de fraude et les erreurs de transaction.

Des initiatives comme Ripple, un réseau de paiement basé sur la blockchain, illustrent cette transformation. Ripple offre une solution où les transactions peuvent être vérifiées de manière sécurisée et instantanée à travers le monde, ce qui représente un avantage considérable pour les banques et les consommateurs cherchant à réduire les coûts et à accélérer les paiements internationaux (Zhang et al., 2022).

Les banques et institutions financières commencent également à reconnaître les avantages de la blockchain pour optimiser leurs processus de paiement. Par exemple, des banques comme Santander ont déjà intégré la technologie blockchain pour offrir à leurs clients des transferts de fonds internationaux plus rapides et moins coûteux, démontrant ainsi l'efficacité et le potentiel de cette technologie dans des applications financières réelles (Arner et al., 2021).

La blockchain représente une avancée majeure dans le domaine des paiements internationaux, offrant des solutions qui ne sont pas seulement technologiquement avancées mais aussi bénéfiques pour améliorer l'efficacité opérationnelle, réduire les coûts et augmenter la transparence financière.

Le cas Belfius et l'utilisation de la blockchain pour améliorer les paiements internationaux

En Belgique, la banque Belfius utilise la blockchain pour améliorer certains aspects spécifiques des paiements internationaux, en particulier pour les transactions nécessitant une rapidité accrue et une réduction des coûts. En collaboration avec Ripple, une entreprise spécialisée dans les solutions de paiement basées sur la blockchain, Belfius a intégré la technologie de Ripple pour faciliter les transferts transfrontaliers. RippleNet permet à Belfius de réaliser des transactions

quasi instantanées entre différentes devises, en évitant les multiples intermédiaires traditionnels. Ce partenariat a permis à Belfius de réduire considérablement les délais de traitement et les frais associés aux paiements internationaux, tout en augmentant la transparence et la traçabilité des transactions (Ripple, 2023).

Grâce à l'utilisation de la blockchain, chaque transaction effectuée par Belfius via RippleNet est enregistrée sur un registre distribué et immuable, accessible à toutes les parties autorisées. Les clients de Belfius peuvent suivre leurs transactions en temps réel, ce qui réduit les risques de fraude et d'erreurs et renforce la confiance dans les services bancaires. La technologie blockchain permet également à Belfius de se conformer plus facilement aux réglementations internationales en matière de lutte contre le blanchiment d'argent et le financement du terrorisme, grâce à la transparence accrue et à la traçabilité des paiements (Belfius, 2022).

En plus de Belfius, une autre entreprise belge, SettleMint, a fait des avancées significatives dans l'application de la blockchain pour les paiements internationaux. SettleMint offre des solutions blockchain en tant que service (BaaS) qui permettent aux entreprises de divers secteurs d'intégrer facilement la blockchain dans leurs opérations. SettleMint a travaillé avec des institutions financières pour développer des solutions de paiement transfrontalier sécurisées et efficaces. Par exemple, en partenariat avec une banque de détail, SettleMint a mis en place une plateforme blockchain qui permet de réduire les délais de règlement et les coûts associés aux transactions internationales, tout en assurant une transparence totale des flux financiers (SettleMint, 2023).

Ces initiatives montrent comment la blockchain est utilisée en Belgique pour transformer les paiements internationaux, en rendant les transactions plus rapides, moins coûteuses et plus transparentes. Les efforts de Belfius et de SettleMint illustrent le potentiel de cette technologie pour révolutionner les services financiers, offrant des avantages tangibles tant pour les institutions financières que pour leurs clients.

3.3.2 Financements structurés et syndiqués

La blockchain trouve également des applications significatives dans les financements structurés et syndiqués, où elle améliore l'efficacité et la transparence des processus. Dans le cadre des financements structurés, la blockchain peut simplifier la gestion et la distribution des tranches de dette, tandis que dans les prêts syndiqués, elle facilite la coordination entre les différents prêteurs.

Les financements structurés impliquent souvent des produits financiers complexes, incluant des titres adossés à des actifs (ABS), des obligations sécurisées par des hypothèques (MBS), et d'autres dérivés de crédit. La gestion de ces produits peut être fastidieuse en raison de la nécessité de suivre de multiples paiements, échéances, et préférences de risque des investisseurs. L'utilisation de la blockchain permet de créer un registre distribué qui assure le suivi automatisé de toutes ces variables en temps réel, augmentant ainsi la précision et réduisant les coûts administratifs (Schär, 2021).

Pour les prêts syndiqués, la blockchain offre une plateforme où toutes les transactions et les modifications de contrat peuvent être enregistrées de manière transparente et immuable. Ceci est particulièrement utile pour coordonner les actions entre plusieurs banques et institutions financières impliquées dans un prêt syndiqué. Chaque participant peut accéder à la même information en temps réel, ce qui réduit les malentendus et accélère le processus de prise de décision (Scott et al., 2017).

De plus, la blockchain facilite la mise en œuvre des contrats intelligents, qui peuvent être programmés pour exécuter des distributions automatiques basées sur des conditions prédéfinies. Par exemple, les paiements d'intérêts aux prêteurs dans un syndicat peuvent être déclenchés automatiquement une fois que les conditions spécifiées dans le contrat sont remplies, sans intervention manuelle. Cette automatisation non seulement simplifie les opérations mais assure également que tous les paiements sont effectués de manière équitable et en temps opportun (Tapscott & Tapscott, 2016).

Ces améliorations ne sont pas seulement théoriques. Des institutions financières comme JPMorgan Chase ont commencé à expérimenter la blockchain dans la gestion des prêts syndiqués, constatant des réductions significatives des délais et des coûts liés à la gestion des accords de prêt et à la communication entre les parties (Arner et al., 2021).

La blockchain dans les financements structurés et les prêts syndiqués ouvre la voie à des opérations plus fluides et transparentes, réduisant les coûts et améliorant la collaboration entre les divers acteurs financiers.

3.3.3 Gestion d'actifs et trackers d'indice (ETFs)

Dans le secteur de la gestion d'actifs et particulièrement dans les trackers d'indice (ETFs), la blockchain offre des possibilités de transformation en termes de simplification des processus, de réduction des coûts et d'amélioration de la transparence. Ces améliorations touchent divers

aspects, de la distribution des actifs à la confirmation des transactions et à la communication des informations aux investisseurs.

La blockchain permet une gestion plus efficace des ETFs grâce à la tokenisation des actifs. La tokenisation transforme les droits de propriété en une représentation numérique sur la blockchain, ce qui facilite le commerce des parts d'ETFs avec une efficacité et une sécurité accrue. En tokenisant les actifs, les gestionnaires peuvent offrir une liquidité améliorée, permettant des transactions plus rapides et à moindre coût par rapport aux systèmes traditionnels qui nécessitent souvent plusieurs jours pour régler les transactions (Bernardi & Pagnoncelli, 2021).

En outre, la blockchain apporte une amélioration significative de la transparence dans la gestion des ETFs. Chaque transaction est enregistrée sur un registre public et immuable, permettant à tous les investisseurs d'accéder en temps réel à des informations précises sur les actifs sous-jacents et les transactions. Cette transparence est cruciale non seulement pour la confiance des investisseurs, mais aussi pour la conformité réglementaire, en assurant que toutes les parties disposent des mêmes informations fiables et vérifiables (O'Leary & Chuen, 2019).

La mise en œuvre de contrats intelligents sur la blockchain offre également des avantages substantiels. Ces contrats peuvent être utilisés pour automatiser des aspects critiques de la gestion des ETFs, tels que le rééquilibrage automatique des portefeuilles, le calcul des distributions de dividendes, et l'exécution de stratégies de couverture. Ces processus automatisés réduisent le besoin d'interventions manuelles et les risques d'erreurs, tout en permettant une plus grande efficacité opérationnelle (Tapscott & Tapscott, 2016).

Des institutions financières de premier plan expérimentent déjà avec la blockchain pour gérer leurs ETFs. Par exemple, la société BlackRock a exploré des applications de la blockchain pour accroître l'efficacité de ses services d'ETF, en recherchant des moyens de réduire les coûts et d'améliorer les services offerts aux clients, ce qui témoigne de l'impact potentiel de cette technologie sur l'industrie (Schär, 2021).

La blockchain dans la gestion d'actifs et les ETFs représente une avancée significative vers une industrie plus efficace et transparente. Avec ses capacités de tokenisation, de registre immuable, et d'automatisation par contrats intelligents, la blockchain promet de redéfinir les opérations traditionnelles dans la gestion d'actifs.

Le cas BlackRock et l'utilisation de la blockchain pour améliorer l'efficacité des ETFs

BlackRock, le plus grand gestionnaire d'actifs au monde, a intégré la blockchain pour optimiser la gestion des ETFs. Cette initiative vise à améliorer la liquidité, augmenter la transparence et réduire les coûts opérationnels. En tokenisant les parts d'ETF, BlackRock permet des transactions en temps réel et des échanges plus fluides, ce qui rend les investissements plus accessibles et flexibles, notamment pour les petits investisseurs.

L'adoption de cette technologie par BlackRock pourrait non seulement révolutionner la gestion de ses ETFs mais également servir de modèle pour l'industrie, montrant comment la blockchain peut transformer les pratiques financières traditionnelles en augmentant l'efficacité et en diminuant les coûts.

Le cas de la Belgique

En Belgique, l'intégration de la blockchain dans la gestion d'actifs et les ETFs est en plein essor, notamment grâce aux initiatives pionnières d'entreprises comme Euroclear. Euroclear, un acteur majeur des infrastructures de marché de capitaux, joue un rôle crucial dans cette transformation technologique.

Euroclear a lancé plusieurs initiatives visant à intégrer la blockchain dans ses opérations, notamment avec son service Digital Securities Issuance (D-SI). Ce service permet l'émission de titres numériques via une technologie de registre distribué (DLT), ce qui améliore l'efficacité et la transparence des processus de règlement et de conservation des actifs. En octobre 2023, Euroclear a annoncé le lancement de ce service, marquant une étape significative dans sa stratégie de marché financier numérique (Euroclear, 2023).

En mars 2024, Euroclear a également investi dans Iznes, un réseau européen basé sur la blockchain pour la gestion d'actifs. Cet investissement vise à moderniser les capacités de l'infrastructure post-marché et à rester pertinent face aux évolutions technologiques. Philippe Laurensy, responsable de la stratégie produit et de l'innovation chez Euroclear, a souligné que l'automatisation des processus et la mutualisation des données grâce aux technologies numériques peuvent réduire considérablement les coûts de distribution des fonds (Finextra, 2024).

De plus, dans le cadre de sa présidence du Conseil de l'Union européenne en 2024, la Belgique mettra un accent particulier sur le développement de la blockchain. Le secrétaire d'État à la digitalisation, Mathieu Michel, a indiqué que la priorité serait donnée à la revitalisation de l'infrastructure européenne des services blockchain (EBSI). Ce projet vise à établir une

infrastructure blockchain partagée à travers l'UE pour faciliter des transactions transfrontalières sécurisées et efficaces (CoinDesk, 2023; Catenaa, 2023).

Ces initiatives montrent comment la Belgique adopte la technologie blockchain pour transformer et optimiser le secteur de la gestion d'actifs et des ETFs, offrant ainsi des services plus fiables et efficaces aux investisseurs.

3.4 Initiatives blockchain en Belgique et en Europe

3.4.1 KBC Coin

KBC Coin, également connu sous le nom de Kate Coin, est une cryptomonnaie lancée par la banque belge KBC. Cette initiative innovante vise à intégrer les technologies de la blockchain dans les services financiers proposés par KBC, facilitant ainsi les transactions entre les clients et les différentes entités de la banque. KBC Coin permet d'effectuer des transactions sécurisées et transparentes, réduisant les frais de transaction et augmentant l'efficacité opérationnelle. En utilisant la blockchain, KBC Coin assure un enregistrement immuable des transactions, renforçant ainsi la confiance des utilisateurs. De plus, cette cryptomonnaie est intégrée dans l'écosystème numérique de KBC, incluant des services bancaires en ligne et des applications mobiles, ce qui offre aux clients une expérience utilisateur homogène et simplifiée. Kate Coin est également conçue pour encourager l'adoption de nouvelles technologies financières parmi les utilisateurs de KBC, en offrant des incitations et des récompenses pour l'utilisation de la cryptomonnaie. En outre, KBC Coin s'inscrit dans une stratégie plus large de numérisation et d'innovation, visant à positionner KBC comme un leader dans le domaine des fintechs en Belgique et en Europe (KBC, 2023).

3.4.2 Buck-e

Buck-e est une initiative innovante lancée par la banque belge Belfius en collaboration avec FairVille, visant à encourager les comportements durables chez les jeunes à travers l'utilisation d'une cryptomonnaie dédiée. Ce projet repose sur la technologie blockchain pour enregistrer et récompenser les activités écoresponsables des enfants, telles que le vélo ou la marche pour se rendre à l'école. En intégrant cette technologie, Buck-e offre un écosystème sécurisé où les actions positives des jeunes sont encouragées et facilement vérifiables.

Les enfants accumulent des Buck-e en réalisant des activités durables, qu'ils peuvent ensuite échanger contre des récompenses ou des avantages spécifiques. Ce système incitatif non seulement promeut des comportements respectueux de l'environnement, mais éduque également les jeunes sur les avantages et le fonctionnement de la blockchain. L'intégration de

Buck-e dans les écoles locales par Belfius et FairVille a créé un impact positif direct sur les communautés, en favorisant une prise de conscience environnementale dès le plus jeune âge.

Le projet Buck-e démontre comment la blockchain peut être utilisée pour des initiatives sociales et éducatives, au-delà de ses applications financières traditionnelles. En utilisant la blockchain, Buck-e assure la transparence et la sécurité des transactions, ce qui renforce la confiance des utilisateurs. Ce projet est également aligné avec les objectifs de développement durable de Belfius, visant à promouvoir la durabilité et l'innovation sociale.

En fin de compte, Buck-e illustre comment la technologie blockchain peut être appliquée de manière créative pour résoudre des problèmes sociaux et encourager des comportements positifs, contribuant ainsi à un avenir plus durable (Belfius, 2022).

3.4.3 Kube-KYC

Kube-KYC est une solution blockchain innovante développée en Belgique, visant à simplifier et sécuriser le processus de connaissance du client (KYC) en collaboration avec les services d'identité numérique itsme et la plateforme bancaire Isabel. Cette technologie permet aux institutions financières de vérifier l'identité des clients de manière plus efficace, sécurisée et rapide. En intégrant Kube-KYC, les banques et autres institutions financières peuvent réduire les coûts et le temps associés aux processus KYC traditionnels, tout en améliorant la précision et la fiabilité des vérifications.

La blockchain utilisée par Kube-KYC assure un enregistrement immuable et transparent des données KYC, garantissant ainsi la conformité avec les réglementations en matière de protection des données et de lutte contre le blanchiment d'argent. Grâce à cette solution, les institutions peuvent offrir une expérience utilisateur améliorée, où les clients peuvent vérifier leur identité en utilisant leur identité numérique existante via itsme, une application largement adoptée en Belgique.

L'intégration de Kube-KYC avec itsme et Isabel renforce la sécurité et la commodité des transactions financières. Les clients peuvent ainsi accéder à une gamme de services financiers de manière sécurisée et sans friction. Cette synergie entre Kube-KYC et itsme/Isabel positionne la Belgique à la pointe de l'innovation en matière de fintech et de gestion de l'identité numérique.

Kube-KYC est un exemple parfait de la manière dont la blockchain peut transformer les processus financiers traditionnels en offrant des solutions plus efficaces et sécurisées. Cette

initiative reflète l'engagement de la Belgique à adopter des technologies de pointe pour améliorer les services financiers et renforcer la confiance des consommateurs (Isabel Group, 2020 ; Kube, n.d.).

3.4.4 T-Mining

T-Mining est une startup belge basée à Anvers, spécialisée dans l'application de la technologie blockchain pour améliorer la sécurité et l'efficacité des processus logistiques et maritimes. Fondée en 2016, T-Mining développe des solutions innovantes qui permettent de sécuriser et de digitaliser les flux de travail dans les chaînes d'approvisionnement.

L'une des principales solutions de T-Mining est le Secure Container Release (SCR). Cette application utilise la technologie blockchain pour remplacer les codes PIN traditionnels par des jetons numériques, augmentant ainsi la sécurité et réduisant les risques de fraude dans le processus de libération des conteneurs. SCR permet de garantir la confidentialité des données commerciales et de protéger les employés et les clients contre les interventions malveillantes lors de la libération des conteneurs. Ce système est actuellement utilisé par plus de 1 300 entreprises impliquées dans le processus d'importation de conteneurs dans plus de 25 pays (T-Mining, 2022).

En collaboration avec des partenaires tels que CMA CGM, T-Mining a piloté et déployé la solution SCR dans des ports majeurs comme ceux d'Anvers et de Rotterdam. En 2021, CMA CGM a participé à un projet pilote à Rotterdam, avant de commencer à intégrer SCR dans le port d'Anvers en 2022. Ce partenariat démontre l'efficacité et la robustesse de la solution de T-Mining dans des environnements logistiques complexes (T-Mining, 2022).

T-Mining ne se limite pas à la libération des conteneurs. L'entreprise développe également des solutions pour automatiser et sécuriser d'autres aspects des flux logistiques, comme la gestion des certificats d'origine et des documents phytosanitaires, en partenariat avec des plateformes comme Digichambers 2.0 en Belgique et CamelONE à Singapour (T-Mining, 2021).

En adoptant des technologies décentralisées, T-Mining permet aux entreprises de reprendre le contrôle de leurs données et de leur identité, tout en assurant une confidentialité maximale. Cette approche innovante positionne T-Mining comme un leader dans l'application de la blockchain aux processus logistiques, contribuant ainsi à la modernisation et à la sécurisation des chaînes d'approvisionnement mondiales.

3.4.5 we.trade

we.trade est une plateforme blockchain collaborative développée par plusieurs grandes banques européennes, visant à faciliter le commerce international entre les entreprises. Utilisant la technologie blockchain, we.trade offre une solution sécurisée et transparente pour les transactions commerciales, réduisant les risques et améliorant l'efficacité des échanges. Les entreprises participantes peuvent utiliser we.trade pour créer, gérer et exécuter des contrats intelligents qui automatisent les processus commerciaux, tels que les paiements et les livraisons.

La technologie blockchain utilisée par we.trade permet de s'assurer que toutes les parties concernées disposent des mêmes informations en temps réel, ce qui renforce la confiance et la transparence dans les transactions. Les contrats intelligents intégrés à la plateforme éliminent les risques de contrepartie en déclenchant automatiquement les paiements lorsque les conditions contractuelles sont remplies. Cela permet aux entreprises de se concentrer sur la croissance de leur activité en explorant de nouveaux marchés et en forgeant de nouveaux partenariats commerciaux (IBM, 2020). we.trade est soutenue par un consortium de grandes banques européennes, dont Deutsche Bank, HSBC, KBC, Nordea, Rabobank, Santander, Société Générale et UniCredit, ainsi que par le géant technologique IBM. En collaborant avec IBM, we.trade a pu bénéficier de l'expertise en blockchain de l'entreprise, ainsi que de son infrastructure cloud globale, pour créer une plateforme robuste et évolutive. En outre, we.trade a établi des partenariats avec d'autres réseaux de finance commerciale basés sur la blockchain, tels qu'eTradeConnect à Hong Kong, afin de faciliter les échanges commerciaux entre l'Europe et l'Asie (Global Trade Review, 2020; The Asian Banker, 2020).

we.trade est un exemple probant de la manière dont la blockchain peut transformer le commerce international en rendant les processus plus rapides, plus simples et plus sécurisés. En éliminant les étapes superflues et en assurant la conformité réglementaire, we.trade simplifie les transactions transfrontalières et renforce la compétitivité des entreprises européennes sur la scène mondiale.

3.4.6 Infrachain

Infrachain est une organisation à but non lucratif basée au Luxembourg, créée pour promouvoir l'adoption de la technologie blockchain tout en respectant les réglementations en vigueur. Fondée en 2017, Infrachain s'efforce de réconcilier la transparence et la gouvernance des blockchains publiques avec la flexibilité des blockchains privées, afin de répondre aux besoins des entreprises luxembourgeoises. Infrachain se distingue par son modèle de gouvernance communautaire, qui permet aux membres de participer activement à la gestion et au

développement de l'infrastructure blockchain. En tant qu'initiative soutenue par le secteur public et privé, Infrachain joue un rôle crucial dans la création d'un écosystème blockchain robuste et opérationnel au Luxembourg. L'organisation gère plusieurs nœuds blockchain, y compris un nœud de la European Blockchain Services Infrastructure (EBSI), qui vise à faciliter les services publics numériques à travers l'Europe (Infrachain, 2022).

L'une des principales réalisations d'Infrachain est l'organisation du Infrachain Summit, un événement annuel qui rassemble des experts en blockchain du monde entier pour discuter des cas d'utilisation opérationnels de la blockchain. Le sommet met en lumière des sujets tels que les identités décentralisées, les justificatifs vérifiables, les tokens non fongibles (NFT) et le Metaverse/Web 3.0. Cet événement est une plateforme de réseautage de premier plan pour les professionnels de la blockchain, favorisant l'échange de connaissances et la collaboration (Infrachain, 2022).

Infrachain collabore également avec des initiatives comme le Luxembourg Blockchain Lab, qui se concentre sur l'utilisation de la blockchain pour atteindre les Objectifs de Développement Durable (ODD). Cette collaboration vise à démontrer comment la technologie blockchain peut être utilisée pour des applications ayant un impact positif sur la société, en allant au-delà des simples transactions financières (Innovative Initiatives, 2020).

Infrachain a réussi à positionner le Luxembourg comme un centre de compétence en matière de blockchain, attirant des développeurs et des entreprises du monde entier. Grâce à ses efforts, le Luxembourg est devenu un leader dans l'adoption et l'application de la technologie blockchain, offrant un environnement réglementaire favorable et une infrastructure de pointe pour soutenir l'innovation continue.

3.4.7 Digital Equity

Le fonds d'investissement Digital Equity, basé au Luxembourg, se concentre sur l'évolution numérique et la convergence de la blockchain, de l'intelligence artificielle (IA) et du métaverse. Depuis 2012, Digital Equity offre à ses clients une exposition unique aux actifs numériques, combinant performances solides avec une approche prudente et des informations de marché précieuses.

En tant qu'investisseur précurseur, Digital Equity est né de la nécessité d'une gestion systématique des capitaux. Le fonds applique des stratégies robustes qui ont fait leurs preuves sur les marchés traditionnels depuis des décennies, une expertise essentielle dans un secteur marqué par la volatilité et la sensibilité aux pratiques spécifiques. Malgré les conditions de

marché souvent volatiles, Digital Equity a réussi à maintenir une approche stable et performante depuis son lancement en 2020.

Digital Equity se concentre sur les opportunités offertes par la technologie blockchain, l'IA et le métaverse. Le fonds investit dans une gamme diversifiée d'actifs, incluant le Bitcoin, l'Ethereum, les solutions de layer 1 et 2, les bridges, l'identité numérique basée sur la zero knowledge proof, les wallets et leur sécurité, ainsi que les applications combinant blockchain et IA. Le fonds s'adresse principalement aux investisseurs qualifiés, tels que les particuliers, les entreprises, les fonds d'investissement, les family offices et les investisseurs institutionnels. En plus de réduire les risques et de maximiser les profits pour ses clients, Digital Equity a participé activement à des projets novateurs comme Ethereum, Celestia et Polkadot. L'équipe, en tant que membre actif de réseaux francophones tels que le Cercle du Coin, a consolidé sa position d'acteur influent dans l'industrie.

Grâce à son réseau et à son écosystème bien établis, Digital Equity peut participer en amont aux levées de fonds les plus recherchées. Leur thèse d'investissement repose sur la conviction que les technologies blockchain, l'IA et le métaverse sont à la pointe de l'innovation numérique. Le fonds anticipe que des événements comme l'approbation des demandes ETF par la SEC et le prochain Halving du Bitcoin auront un impact positif sur l'adoption et la valorisation des actifs numériques, ouvrant la voie à des opportunités d'investissement innovantes et lucratives.

3.5 Impact de la tokenisation sur les produits financiers

3.5.1 Tokenisation des actions et obligations

Le cas Société Générale et l'émission d'obligations tokenisées

La tokenisation des actions et des obligations constitue une innovation significative dans le secteur financier, offrant de nombreux avantages en termes de liquidité, transparence et efficacité des transactions. En convertissant des actifs financiers traditionnels en tokens numériques sur une blockchain, la tokenisation permet un transfert et une gestion décentralisés et sécurisés de ces actifs.

La tokenisation des actions permet de fractionner les titres en unités plus petites, rendant possible la participation des petits investisseurs. Ce fractionnement accroît la liquidité des marchés financiers en facilitant les échanges de parts d'actifs. Les investisseurs peuvent ainsi acheter et vendre des fractions d'actions selon leurs besoins, ce qui réduit les barrières à l'entrée et augmente la participation sur les marchés financiers (Catalini & Gans, 2016).

De même, la tokenisation des obligations simplifie la gestion et le transfert de ces instruments financiers complexes. Traditionnellement, les obligations nécessitent des processus de règlement longs et coûteux, impliquant plusieurs intermédiaires. Grâce à la blockchain, ces processus peuvent être automatisés et simplifiés, réduisant ainsi les coûts opérationnels et les délais de règlement. Les tokens représentant des obligations peuvent être échangés instantanément sur des plateformes de trading décentralisées, améliorant ainsi l'efficacité du marché et la liquidité des obligations (Natarajan, Krause & Gradstein, 2017).

Un exemple notable de l'application de la tokenisation dans le secteur financier est fourni par la Société Générale. En avril 2019, Société Générale SFH, une filiale de la banque, a émis 100 millions d'euros d'obligations couvertes sous forme de tokens sur la blockchain publique Ethereum. Cette émission a démontré les avantages pratiques de la blockchain pour les opérations de financement, y compris l'automatisation des processus de gestion des titres et la réduction des coûts opérationnels associés à l'émission et au règlement des obligations (Société Générale, 2019).

L'initiative de la Société Générale a également illustré l'utilisation de contrats intelligents pour gérer automatiquement les paiements d'intérêts et le remboursement du principal. Les contrats intelligents permettent d'exécuter automatiquement les termes des obligations, réduisant ainsi les risques d'erreur humaine et assurant une conformité stricte aux conditions contractuelles. Cette automatisation améliore l'efficacité des transactions tout en garantissant la sécurité et la transparence, car toutes les parties disposent des mêmes informations en temps réel (Nabilou, 2020).

Cependant, la tokenisation des actions et des obligations pose des défis en termes de cadre réglementaire et de standardisation. Les régulateurs financiers doivent adapter leurs politiques pour traiter les spécificités des actifs numériques, et des standards communs doivent être développés pour assurer l'interopérabilité entre différentes plateformes de tokenisation. Ces défis doivent être relevés pour réaliser pleinement le potentiel de la tokenisation dans le secteur financier (Zohar, 2019).

Le cas de KBC et la tokenisation des actions sur Bolero

L'adoption de la tokenisation par KBC via sa plateforme Bolero marque une étape significative dans l'évolution du secteur financier belge. Cette initiative illustre l'efficacité accrue que la tokenisation peut apporter en automatisant les processus d'émission d'actions et de gestion des dividendes, ce qui permet une réduction des coûts opérationnels et une amélioration de la

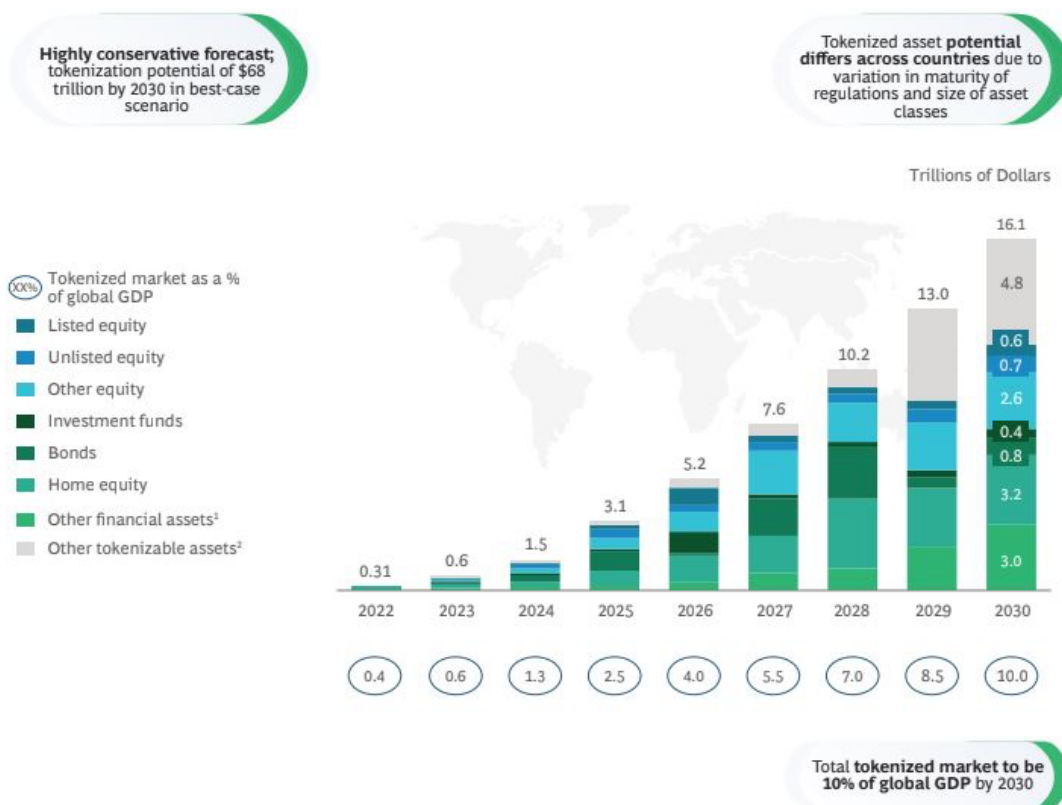
transparence des transactions (Forbes Belgique, 2024). Selon des projections, le marché de la tokenisation pourrait atteindre jusqu'à 16 trillions de dollars d'ici 2030, signifiant l'ampleur et l'impact potentiel de cette technologie sur l'économie globale.

En Belgique, où le secteur financier est particulièrement ouvert aux innovations technologiques, la réglementation a évolué pour accompagner l'essor de la tokenisation. Le cadre législatif belge, adapté aux normes européennes, permet une intégration sûre et réglementée de la tokenisation, assurant la protection des investisseurs tout en encourageant l'innovation financière. Cette approche réglementaire proactive est cruciale pour maintenir la confiance dans les marchés financiers et pour soutenir le développement de nouvelles plateformes de trading et de gestion d'actifs tokenisés.

L'impact de la tokenisation sur le marché belge ne se limite pas à la simplification des transactions. Elle offre également la possibilité d'élargir l'accès aux marchés financiers à un plus grand nombre d'investisseurs. En permettant la fractionnalisation des actifs financiers, KBC et d'autres institutions financières peuvent attirer des petits investisseurs qui étaient auparavant exclus du marché en raison de barrières à l'entrée telles que les montants d'investissement élevés ou la complexité des produits financiers.

Cependant, la transition vers la tokenisation soulève également des défis, notamment en termes de sécurité des données et de gestion des risques liés à la blockchain. Les institutions financières doivent donc investir dans des technologies de cybersécurité avancées et développer des compétences internes pour gérer ces risques. De plus, le développement de standards internationaux pour la tokenisation est essentiel pour assurer l'interopérabilité entre les différentes plateformes et systèmes financiers, facilitant ainsi des transactions transfrontalières plus fluides et sécurisées.

En somme, le cas de KBC démontre le potentiel de la tokenisation à transformer le paysage financier, non seulement en Belgique mais aussi à l'échelle mondiale. Ce développement représente une avancée vers des marchés financiers plus inclusifs, efficaces et transparents.



Source : <https://www.forbes.be/fr/quest-ce-que-la-tokenisation/>

3.5.2 Implications pour les investisseurs et les institutions

La tokenisation des actifs financiers, y compris les actions et les obligations, a des implications profondes pour les investisseurs et les institutions financières. Pour les investisseurs, la tokenisation offre une multitude d'avantages, notamment une plus grande accessibilité aux marchés, une diversification accrue des portefeuilles, et une réduction des coûts de transaction. Pour les institutions financières, cette innovation représente une opportunité de moderniser leurs infrastructures, d'améliorer l'efficacité opérationnelle et de développer de nouveaux modèles économiques.

Pour les investisseurs, la tokenisation permet une accessibilité accrue aux actifs financiers. En fractionnant les actifs en petites unités numériques, même les petits investisseurs peuvent acheter des parts d'actifs qu'ils n'auraient pas pu se permettre dans leur intégralité. Cette démocratisation de l'investissement élargit la base d'investisseurs et favorise une participation plus inclusive sur les marchés financiers (Catalini & Gans, 2016). De plus, les tokens peuvent être échangés sur des plateformes de trading décentralisées ouvertes 24/7, offrant une liquidité accrue et des possibilités de négociation plus flexibles par rapport aux marchés traditionnels.

La tokenisation facilite également la diversification des portefeuilles. Les investisseurs peuvent répartir leurs fonds sur une gamme plus large d'actifs tokenisés, y compris des actions, des obligations, de l'immobilier, et même des œuvres d'art. Cette diversification est rendue plus facile et plus rentable grâce à la réduction des coûts de transaction et à la possibilité de négocier des fractions d'actifs (Zohar, 2019). Par conséquent, les investisseurs peuvent gérer plus efficacement leurs risques et optimiser leurs rendements.

Pour les institutions financières, la tokenisation présente des opportunités de modernisation et d'amélioration de l'efficacité opérationnelle. La gestion des titres tokenisés peut être entièrement automatisée à l'aide de contrats intelligents, réduisant ainsi les coûts administratifs et minimisant les erreurs humaines. Les processus tels que le règlement des transactions, le paiement des intérêts et le remboursement du principal peuvent être exécutés automatiquement, assurant une conformité stricte aux conditions contractuelles et une transparence totale (Tapscott & Tapscott, 2016).

En outre, la tokenisation permet aux institutions financières de développer de nouveaux modèles économiques. Par exemple, elles peuvent créer des plateformes de trading décentralisées pour les actifs tokenisés, offrant des services de garde et de gestion d'actifs numériques. Ces innovations peuvent attirer de nouveaux segments de clients et générer de nouvelles sources de revenus. Les institutions financières peuvent également utiliser la tokenisation pour améliorer leurs capacités de financement, en émettant des obligations ou d'autres instruments financiers sous forme de tokens, comme l'a fait la Société Générale (Société Générale, 2019).

Cependant, la tokenisation pose également des défis importants pour les investisseurs et les institutions financières. Les questions de réglementation et de conformité sont particulièrement cruciales. Les régulateurs doivent adapter leurs cadres législatifs pour traiter les spécificités des actifs numériques et garantir la protection des investisseurs. Les institutions financières doivent également investir dans des infrastructures technologiques robustes et sécurisées pour gérer les actifs tokenisés et assurer leur intégrité et leur sécurité (Nabilou, 2020).

La standardisation des protocoles de tokenisation est un autre défi. Sans standards communs, l'interopérabilité entre différentes plateformes de tokenisation peut être difficile à assurer, ce qui pourrait limiter l'adoption généralisée de cette technologie. Les efforts de collaboration entre les régulateurs, les institutions financières et les développeurs de technologie sont

essentiels pour surmonter ces obstacles et maximiser les bénéfices de la tokenisation pour toutes les parties prenantes (Zohar, 2019).

3.6 Dérégulation et nouveaux modèles d'affaires

3.6.1 Impact sur les banques et les institutions traditionnelles

Le cas JPMorgan Chase et le développement de la JPM Coin

La blockchain et la tokenisation transforment profondément le paysage des services financiers, influençant non seulement les processus transactionnels mais aussi les structures organisationnelles des banques et des institutions financières traditionnelles. L'émergence de la blockchain et des cryptomonnaies a conduit à une dérégulation significative, remettant en question les rôles traditionnels des intermédiaires financiers et ouvrant la voie à de nouveaux modèles d'affaires.

L'un des principaux impacts de la blockchain sur les banques et les institutions financières traditionnelles est la réduction de leur rôle en tant qu'intermédiaires. Traditionnellement, les banques ont servi d'intermédiaires de confiance pour faciliter les transactions financières, gérer les risques et garantir la sécurité des actifs. Avec la blockchain, la nécessité de ces intermédiaires diminue car les transactions peuvent être vérifiées et enregistrées de manière décentralisée, sécurisée et transparente. Cette désintermédiation peut entraîner une réduction des revenus traditionnels des banques provenant des frais de transaction et de gestion des actifs (Catalini & Gans, 2016).

De plus, la blockchain offre de nouvelles opportunités pour l'automatisation des processus financiers grâce aux contrats intelligents. Ces contrats, qui s'exécutent automatiquement lorsque des conditions prédéfinies sont remplies, peuvent remplacer de nombreux processus administratifs coûteux et sujets aux erreurs. Par exemple, les paiements automatiques d'intérêts sur des obligations tokenisées ou les règlements de transactions en temps réel peuvent être gérés sans intervention humaine, améliorant ainsi l'efficacité opérationnelle et réduisant les coûts (Tapscott & Tapscott, 2016).

Un exemple notable de l'adoption de la blockchain par une institution financière traditionnelle est le développement de la JPM Coin par JPMorgan Chase. Lancée en 2019, la JPM Coin est une cryptomonnaie développée par la banque pour faciliter les paiements instantanés entre les clients institutionnels de JPMorgan. Cette initiative représente une réponse proactive aux défis posés par la blockchain et les cryptomonnaies, démontrant comment une grande banque peut intégrer cette technologie pour améliorer ses services financiers (JPMorgan Chase, 2019). La

JPM Coin utilise la technologie blockchain pour offrir des paiements instantanés et sécurisés, réduisant ainsi les délais de règlement et les coûts associés aux transactions internationales. En utilisant sa propre cryptomonnaie, JPMorgan peut également offrir une transparence accrue et une traçabilité des transactions, améliorant la confiance et la sécurité pour ses clients institutionnels. Ce développement montre comment les banques peuvent adopter des éléments de la technologie blockchain pour rester compétitives dans un environnement financier en évolution rapide (Lee, 2019).

Cependant, l'intégration de la blockchain dans les banques et les institutions financières traditionnelles n'est pas sans défis. Les régulateurs doivent adapter leurs cadres juridiques pour traiter les nouvelles formes de monnaie et les structures décentralisées. Les questions de sécurité et de confidentialité des données doivent également être soigneusement gérées pour garantir la protection des informations sensibles des clients. De plus, les banques doivent investir dans la formation et le développement de compétences pour leurs employés afin de gérer efficacement les nouvelles technologies et les modèles d'affaires associés (Nabilou, 2020).

3.6.2 Émergence de nouvelles plateformes de financement

Le cas des plateformes de finance décentralisée telles que Uniswap et Aave

L'émergence de nouvelles plateformes de financement, facilitée par la technologie blockchain, représente une transformation significative du paysage financier traditionnel. Ces plateformes décentralisées, souvent désignées sous le terme de DeFi, permettent des transactions financières sans intermédiaires centralisés, offrant ainsi des services financiers plus accessibles, transparents et efficaces.

Les plateformes DeFi utilisent des smart contracts pour automatiser et sécuriser une variété de services financiers, notamment les prêts, les emprunts, le trading et l'assurance. Ces contrats intelligents, exécutés sur des blockchains comme Ethereum, éliminent le besoin de tiers de confiance, réduisant ainsi les coûts de transaction et augmentant la vitesse et l'efficacité des opérations financières (Schär, 2021). Uniswap et Aave sont deux exemples emblématiques de plateformes DeFi qui illustrent l'impact de cette nouvelle forme de financement.

Uniswap est une plateforme de trading décentralisée qui permet aux utilisateurs d'échanger des cryptomonnaies directement entre eux via des contrats intelligents. Contrairement aux échanges centralisés traditionnels, Uniswap utilise un modèle de liquidité automatisé, où les fournisseurs de liquidité déposent des paires de tokens dans des pools de liquidité. Les utilisateurs peuvent ensuite échanger des tokens directement à partir de ces pools en payant des frais minimes, qui

sont redistribués aux fournisseurs de liquidité (Adams, 2020). Ce modèle élimine les intermédiaires et permet une plus grande accessibilité et flexibilité pour les traders, tout en assurant une transparence totale grâce à la nature publique et immuable de la blockchain.

Aave est une plateforme de prêt décentralisée qui permet aux utilisateurs de prêter et d'emprunter des cryptomonnaies sans intermédiaires centralisés. Les utilisateurs peuvent déposer leurs actifs cryptographiques dans des pools de liquidité et gagner des intérêts, tandis que les emprunteurs peuvent utiliser ces pools pour obtenir des prêts en fournissant des garanties sous forme de cryptomonnaies (Stani, 2020). Les taux d'intérêt sont déterminés de manière algorithmique en fonction de l'offre et de la demande, et toutes les transactions sont gérées par des smart contracts, assurant une exécution automatique et sécurisée des termes du prêt.

Ces plateformes DeFi présentent plusieurs avantages par rapport aux systèmes financiers traditionnels. Tout d'abord, elles offrent une plus grande inclusion financière, permettant à des personnes non bancarisées ou sous-bancarisées d'accéder à des services financiers sans avoir besoin d'un compte bancaire traditionnel. De plus, elles permettent une transparence accrue, car toutes les transactions sont enregistrées sur la blockchain et peuvent être vérifiées publiquement, réduisant ainsi les risques de fraude et de manipulation (Zhang et al., 2021).

Cependant, l'émergence de ces plateformes soulève également des défis importants. La régulation de la DeFi est complexe, car elle opère souvent en dehors des cadres réglementaires traditionnels. Les autorités doivent trouver un équilibre entre la promotion de l'innovation financière et la protection des consommateurs. De plus, les questions de sécurité restent une préoccupation majeure, car les smart contracts peuvent contenir des vulnérabilités exploitables par des acteurs malveillants (Werbach, 2018).

3.7 Défis et barrières réglementaires

3.7.1 Problèmes de conformité et législation

L'intégration de la blockchain et des technologies de la DeFi dans le secteur financier pose des défis considérables en matière de conformité et de législation. Ces défis découlent principalement des caractéristiques intrinsèques de la blockchain, telles que la décentralisation, l'immuabilité et l'anonymat, qui ne s'harmonisent pas facilement avec les cadres réglementaires traditionnels.

Les régulateurs financiers à travers le monde s'efforcent de rattraper la rapidité d'évolution des technologies blockchain. Les systèmes juridiques actuels, souvent conçus pour des entités

centralisées et des processus transactionnels traditionnels, se trouvent inadéquats pour gérer les transactions décentralisées et pseudonymes caractéristiques de la blockchain. Cette inadéquation soulève des préoccupations quant à la manière dont les lois existantes peuvent être appliquées ou adaptées pour réguler efficacement les activités sur les plateformes blockchain (Zohar, 2019).

Un des principaux problèmes de conformité concerne la lutte contre le blanchiment d'argent (AML) et le financement du terrorisme (CFT). Les régulateurs exigent généralement des institutions financières qu'elles mettent en œuvre des procédures de connaissance du client (KYC) pour vérifier l'identité des utilisateurs. Cependant, les transactions sur la blockchain peuvent être réalisées sans divulguer l'identité des participants, rendant difficile la mise en œuvre des normes KYC/AML traditionnelles (Nabilou, 2020). Les plateformes DeFi, en particulier, posent un défi car elles fonctionnent souvent de manière complètement décentralisée, sans entité centrale pour assurer la conformité.

De plus, l'immutabilité des transactions blockchain complique la gestion des données personnelles conformément aux réglementations sur la protection des données, comme le Règlement général sur la protection des données (RGPD) de l'Union européenne. Le RGPD confère aux individus le droit d'effacer leurs données personnelles, un droit qui entre en conflit avec la nature immuable des enregistrements blockchain. Cette contradiction nécessite de nouvelles solutions techniques et réglementaires pour permettre une conformité harmonieuse (Finck, 2018).

Les régulateurs doivent également faire face aux défis posés par les offres initiales de jetons (ICO) et autres formes de levées de fonds via la blockchain. Les ICO, qui permettent aux entreprises de lever des fonds en émettant des tokens sur une blockchain, ont souvent été critiquées pour leur manque de transparence et leur potentiel d'abus. En réponse, plusieurs juridictions ont mis en place des cadres réglementaires spécifiques pour les ICO afin de protéger les investisseurs et assurer une transparence adéquate (Zohar, 2019).

La fragmentation réglementaire constitue un autre obstacle majeur. Les réglementations varient considérablement d'un pays à l'autre, ce qui complique la conformité pour les entreprises opérant à l'international. Une entreprise conforme aux lois d'un pays peut se trouver en violation des lois d'un autre. Cette fragmentation entrave le développement d'un marché global cohérent pour les services financiers basés sur la blockchain (Zhang & He, 2020).

Les défis de conformité et de législation liés à la blockchain et à la DeFi sont donc complexes et multi-dimensionnels. Ils nécessitent une collaboration étroite entre les régulateurs, les législateurs et les acteurs du marché pour développer des cadres réglementaires adaptés qui permettent d'exploiter les avantages de ces technologies tout en atténuant leurs risques.

3.7.2 Défis d'intégration avec les systèmes existants

L'intégration de la blockchain et des technologies de la DeFi dans les systèmes financiers traditionnels présente plusieurs défis complexes. Ces défis résultent principalement des différences fondamentales entre les infrastructures blockchain et les systèmes financiers existants, qui ont été développés sur des bases technologiques et réglementaires très différentes.

L'un des principaux défis d'intégration est la compatibilité des technologies. Les systèmes financiers traditionnels reposent sur des infrastructures centralisées avec des protocoles bien établis pour la gestion des transactions, des données et des processus de conformité. En revanche, la blockchain fonctionne sur des réseaux décentralisés avec des protocoles de consensus et des mécanismes de sécurité qui diffèrent considérablement des systèmes centralisés. Cette différence de base technologique rend l'interopérabilité entre les systèmes blockchain et les systèmes existants particulièrement complexe (Narayanan et al., 2016).

La scalabilité est un autre défi majeur. Les systèmes financiers traditionnels sont conçus pour traiter des volumes élevés de transactions de manière efficace. En revanche, de nombreuses plateformes blockchain, en particulier celles utilisant la PoW comme mécanisme de consensus, sont limitées en termes de capacité de traitement des transactions. Cette limitation de scalabilité pose des défis pour l'intégration de la blockchain dans des environnements à fort volume de transactions.

En outre, les systèmes financiers traditionnels sont souvent enchevêtrés avec des couches de technologie héritée (legacy systems) qui sont coûteuses et complexes à moderniser. L'intégration de la blockchain nécessite des mises à jour significatives de ces systèmes existants, ce qui peut être financièrement prohibitif et techniquement complexe. De nombreuses institutions financières hésitent à adopter la blockchain en raison des coûts et des risques associés à la mise à niveau ou au remplacement de leurs systèmes hérités (Zhang & Jacobsen, 2019).

La sécurité constitue un autre défi d'intégration. Bien que la blockchain offre des avantages en termes de sécurité grâce à son architecture décentralisée et à ses mécanismes cryptographiques, elle introduit également de nouvelles vulnérabilités. Par exemple, les smart contracts peuvent

contenir des bugs ou des failles de sécurité exploitables par des attaquants. Assurer la sécurité des intégrations entre la blockchain et les systèmes existants nécessite des audits rigoureux, des tests de sécurité approfondis et des mesures de sécurité complémentaires (Werbach, 2018).

3.8 Perspectives et innovations en cours

3.8.1 Innovations en matière de cryptographie et de sécurité

Les innovations en cryptographie et en sécurité sont cruciales pour renforcer la fiabilité et l'adoption des technologies blockchain dans le secteur financier. Ces avancées technologiques sont essentielles pour protéger les transactions, garantir la confidentialité des données et assurer l'intégrité des systèmes financiers décentralisés.

Les preuves à divulgation nulle de connaissance (zero-knowledge proofs, ZKPs) sont l'une des innovations majeures. Les ZKPs permettent de vérifier la validité d'une transaction sans révéler d'informations sensibles. Par exemple, zk-SNARKs sont utilisés sur la blockchain d'Ethereum pour offrir des transactions anonymes et sécurisées, ce qui est crucial pour protéger les informations financières confidentielles (Ben-Sasson et al., 2014).

Les signatures post-quantiques sont développées pour résister aux attaques potentielles des ordinateurs quantiques. Elles assurent que les transactions et les données financières restent sécurisées à long terme. Cette innovation est vitale pour les institutions financières qui doivent préparer leurs systèmes pour l'avenir des technologies quantiques (Bernstein et al., 2017).

La cryptographie à seuil permet de répartir la gestion des clés privées entre plusieurs parties. Cette technique est utilisée pour sécuriser les portefeuilles numériques et les systèmes de gestion d'actifs. Par exemple, des portefeuilles multisignatures utilisant la cryptographie à seuil peuvent renforcer la sécurité des fonds en nécessitant la collaboration de plusieurs parties pour autoriser une transaction (Goldfeder et al., 2019).

Les améliorations en sécurité des smart contracts sont également essentielles. Les techniques de vérification formelle permettent de prouver mathématiquement que les smart contracts fonctionnent comme prévu, minimisant ainsi les risques d'erreurs et d'attaques. Par exemple, des plateformes comme ChainSecurity offrent des audits de smart contracts pour assurer leur sécurité et fiabilité, ce qui est crucial pour les transactions automatisées (Hajdu et al., 2019).

Enfin, l'adoption de la preuve d'enjeu (Proof of Stake, PoS) améliore la sécurité et l'efficacité des réseaux blockchain. Ethereum 2.0, par exemple, utilise PoS pour valider les transactions de

manière plus sécurisée et écoénergétique par rapport à la preuve de travail (Proof of Work). Cela renforce la confiance des institutions financières dans la blockchain (Buterin, 2020).

Ces innovations en cryptographie et en sécurité sont essentielles pour le secteur financier. Elles permettent de surmonter les défis actuels et ouvrent de nouvelles perspectives pour l'application de la blockchain dans les services financiers.

3.8.2 Impact prévu sur la stabilité financière mondiale

L'adoption généralisée de la blockchain pourrait avoir des répercussions significatives sur la stabilité financière mondiale. La transparence et la traçabilité inhérentes à la blockchain peuvent renforcer la résilience du système financier. La capacité de suivre chaque transaction en temps réel et de vérifier son authenticité réduit le risque de fraude et d'activités illicites, ce qui améliore la confiance dans les institutions financières et les marchés (Nakamoto, 2008). Des régulateurs financiers peuvent utiliser ces caractéristiques pour surveiller plus efficacement les transactions et détecter plus rapidement les irrégularités, contribuant ainsi à une surveillance proactive et à la prévention des crises financières (Zohar, 2019).

La décentralisation offerte par la blockchain peut réduire la dépendance à des institutions financières centralisées, ce qui diminue le risque systémique lié à la faillite de grandes banques ou de courtiers. En cas de perturbation d'une entité centrale, les transactions peuvent encore être validées et enregistrées par le réseau décentralisé, assurant la continuité des opérations financières (Tapscott & Tapscott, 2016). Cela est particulièrement pertinent dans les contextes où les systèmes financiers traditionnels sont fragiles ou soumis à des pressions politiques et économiques.

L'absence de régulation uniforme et de standards internationaux peut créer des incertitudes et des risques de fragmentation du marché. Les différents cadres réglementaires et les approches divergentes adoptées par les pays peuvent compliquer l'intégration globale des technologies blockchain, entraînant des incohérences qui pourraient perturber les marchés financiers (Zhang & He, 2020). Des régulations strictes dans certaines juridictions et un manque de régulation dans d'autres peuvent créer des arbitrages réglementaires, où les activités financières se déplacent vers les régions les moins réglementées, augmentant ainsi les risques de crise.

L'instabilité potentielle des cryptomonnaies, souvent associées à la blockchain, peut également poser des défis. Les fluctuations extrêmes des prix des cryptomonnaies comme le Bitcoin peuvent entraîner des pertes importantes pour les investisseurs et avoir un effet de contagion sur les marchés financiers traditionnels (Yermack, 2017). L'utilisation de cryptomonnaies pour

des activités spéculatives et leur intégration croissante dans les portefeuilles d'investissement institutionnels ajoutent une couche de volatilité qui pourrait affecter la stabilité financière globale.

L'impact environnemental de certaines blockchains, en particulier celles utilisant la PoW, soulève des préoccupations quant à la durabilité à long terme. L'énorme consommation d'énergie nécessaire pour valider les transactions sur ces réseaux peut devenir insoutenable, ce qui pourrait pousser les régulateurs à imposer des restrictions ou des interdictions, affectant ainsi les marchés dépendants de ces technologies (De Vries, 2018).

3.9 Étude de cas et analyses d'impact

3.9.1 Étude de cas : utilisation de la blockchain pour les prêts P2P

Le cas Figure Technologies et l'utilisation de la blockchain dans les prêts hypothécaires

L'adoption de la blockchain dans les prêts peer-to-peer (P2P) transforme le paysage des prêts hypothécaires en offrant des solutions plus rapides, transparentes et sécurisées. Une entreprise pionnière dans ce domaine est Figure Technologies, qui utilise la technologie blockchain pour moderniser le processus de prêt hypothécaire.

Figure Technologies a développé une plateforme basée sur la blockchain appelée Provenance, qui numérise et enregistre toutes les étapes du processus de prêt hypothécaire. Cette technologie permet de réduire considérablement le temps de traitement des prêts, passant de plusieurs semaines à quelques jours. En utilisant des contrats intelligents, la plateforme automatise les vérifications nécessaires, les calculs d'intérêt et les paiements, éliminant ainsi de nombreux intermédiaires traditionnels et réduisant les coûts opérationnels (Figure Technologies, 2020).

La transparence de la blockchain assure que toutes les parties impliquées ont une vue claire et immuable des transactions et des statuts des prêts. Chaque étape du processus de prêt est enregistrée sur le registre décentralisé, permettant aux prêteurs, emprunteurs et régulateurs de vérifier en temps réel les informations et de s'assurer de la conformité. Cette visibilité accrue renforce la confiance entre les parties et réduit les risques de fraude (Tapscott & Tapscott, 2016).

L'utilisation de la blockchain par Figure Technologies permet également une meilleure gestion des données et des documents. Les documents associés à chaque prêt, tels que les contrats et les relevés, sont numérisés et stockés sur la blockchain, garantissant leur intégrité et leur accessibilité. Cette numérisation simplifie le processus d'audit et de vérification, tout en réduisant les erreurs humaines et les pertes de documents (Crosby et al., 2016).

En outre, la blockchain offre une meilleure liquidité aux investisseurs en leur permettant de fractionner et de vendre les parts de prêts hypothécaires sur des marchés secondaires. Cette capacité à tokeniser les prêts hypothécaires ouvre de nouvelles opportunités pour les investisseurs et diversifie les sources de financement pour les emprunteurs (Catalini & Gans, 2016).

L'exemple de Figure Technologies illustre les avantages tangibles de la blockchain dans le secteur des prêts hypothécaires P2P. En automatisant les processus, en augmentant la transparence et en améliorant la gestion des données, la blockchain a le potentiel de révolutionner le financement immobilier et de créer un marché plus efficace et inclusif (Narayanan et al., 2016).

3.9.2 Analyse de l'impact sur le marché des changes

L'impact de la blockchain sur le marché des changes (Forex) est significatif, introduisant des innovations qui modifient la manière dont les devises sont échangées et gérées à l'échelle mondiale. Les principales caractéristiques de la blockchain, telles que la décentralisation, la transparence et la sécurité, apportent des améliorations substantielles aux pratiques traditionnelles du Forex.

Premièrement, la décentralisation de la blockchain élimine le besoin d'intermédiaires comme les banques et les courtiers dans les transactions de change. Traditionnellement, les transactions Forex impliquent des intermédiaires qui facilitent les échanges entre différentes devises, engendrant des coûts supplémentaires et des délais de traitement. La blockchain permet des transactions directes entre les parties, réduisant ainsi les coûts de transaction et augmentant la vitesse des échanges. Des plateformes comme Ripple utilisent la blockchain pour offrir des solutions de paiement transfrontaliers rapides et à faible coût, démontrant l'efficacité de cette technologie dans le marché des changes (Ripple, 2020).

Ensuite, la transparence de la blockchain améliore la confiance et la vérifiabilité des transactions Forex. Chaque transaction enregistrée sur la blockchain est immuable et accessible publiquement, permettant à toutes les parties de vérifier les transactions en temps réel. Cette transparence réduit les risques de manipulation du marché et de fraude, créant un environnement de trading plus sûr et plus fiable (Narayanan et al., 2016). Par exemple, le projet Stellar utilise la blockchain pour faciliter les paiements internationaux, offrant une transparence totale et une traçabilité des transactions, ce qui est essentiel pour les régulateurs et les participants au marché des changes (Stellar Development Foundation, 2021).

De plus, la blockchain permet l'automatisation des transactions Forex grâce à l'utilisation de smart contracts. Ces contrats intelligents peuvent exécuter automatiquement des transactions de change lorsque certaines conditions prédéfinies sont remplies, éliminant ainsi le besoin de surveillance manuelle et réduisant les erreurs humaines. Les smart contracts peuvent également être programmés pour gérer les taux de change en temps réel, ajustant automatiquement les transactions en fonction des fluctuations du marché, ce qui accroît l'efficacité et la précision des échanges (Tapscott & Tapscott, 2016).

Enfin, la blockchain facilite l'inclusion financière et l'accès au marché Forex pour les utilisateurs non bancarisés. Les plateformes de change basées sur la blockchain permettent aux individus et aux entreprises dans les régions sous-bancarisées d'accéder aux services de change sans nécessiter un compte bancaire traditionnel. Cela ouvre de nouvelles opportunités économiques et stimule la participation au marché mondial des changes (Catalini & Gans, 2016).

L'impact de la blockchain sur le marché des changes est donc multidimensionnel, offrant des avantages en termes de réduction des coûts, de transparence, d'automatisation et d'inclusion financière. Les innovations apportées par la blockchain ont le potentiel de transformer profondément le Forex, créant un marché plus efficace, sécurisé et accessible à tous les participants.

IV. La tokenisation de l'immobilier

4.1 Principes fondamentaux de la tokenisation

Selon une étude publiée par Savills (2023), une entreprise de conseil en immobilier présente à l'international, l'ensemble des actifs immobiliers mondiaux vaudrait 379.700 milliards de dollars en 2022, ce qui représente près de quatre fois la valeur du PIB mondial de cette même année. De plus, selon les données de la Banque Mondiale en date de 2021, encore 1.7 milliard de personnes sont non-bancarisées dans le monde et parmi elles, un milliard possèdent un téléphone portable et près d'un demi-milliard ont accès à Internet. (World Bank Group, 2024) Ces données montrent l'ampleur du poids économique du secteur immobilier ainsi que le potentiel d'investissement fourni par Internet pour toutes les personnes n'ayant pas accès au système bancaire ; cette section a pour but de démontrer comment la tokenisation de l'immobilier peut ouvrir les portes d'un marché peu accessible à toute cette population.

4.1.1 Contrats intelligents : une révolution dans l'immobilier

Les **smart contracts** sont une avancée majeure dans le secteur immobilier, révolutionnant les transactions immobilières par leur capacité à automatiser et sécuriser les processus sans intervention humaine. (cf. 2.3.1). Si la Blockchain a été initialement rendue célèbre par la cryptomonnaie comme le bitcoin, c'est désormais l'utilisation des smart contracts qui retient l'attention des entreprises, notamment dans le secteur immobilier. Ces secteurs connaissent souvent une lourdeur administrative qui ralentit les transactions et diminue la rentabilité des investissements, situation aggravée par un manque de confiance chez les investisseurs potentiels.

Le fonctionnement des smart contracts est simple mais puissant : les conditions du contrat, souvent des clauses contractuelles, sont programmées sous forme de code sur la blockchain. Lorsque ces conditions sont remplies, les actions correspondantes, telles que le transfert de titres de propriété ou la collecte de paiements, sont automatiquement déclenchées. Un exemple concret de l'impact de cette technologie est illustré lorsque, lors d'une vente immobilière, le paiement est confirmé au moment où toutes les conditions du smart contract sont remplies, permettant le transfert immédiat du titre de propriété à l'acheteur et modifiant dès lors le rôle du notaire ou d'un agent immobilier. Cette automatisation réduit considérablement les frais et les délais traditionnellement associés aux transactions immobilières.

En définitive, les contrats intelligents sont le socle de la tokenisation, ils simplifient les transactions, augmentent la transparence et la sécurité, permettent le fractionnement de la propriété, automatisent la gestion des biens et enfin réduisent les coûts. Ces avantages rendent le marché immobilier plus accessible, plus efficace et plus sûr, marquant une avancée significative dans l'évolution de ce secteur traditionnel. À mesure que la technologie des smart contracts continue de se développer, leur adoption dans l'immobilier est appelée à croître, transformant de manière durable les pratiques et les attentes des acteurs du marché.

4.1.2 Fractionnement des actifs

Une des caractéristiques fondamentales de la tokenisation est sa capacité à transformer des actifs immobiliers, traditionnellement considérés comme étant indivisibles, en jetons numériques, plus communément appelés « tokens ». Un jeton représente une fraction d'un actif immobilier sous-jacent, ainsi que les droits et obligations qui en découlent. (Meinzer, 2022) Pour ce faire, le processus de fractionnement utilise la technologie Blockchain qui est capable de créer une représentation numérique des différentes parts d'un bien immobilier. Ce fractionnement permet aux acheteurs d'avoir diverses options d'achat. En effet, ceux-ci peuvent décider d'acquérir une quantité désirée de tokens correspondant aux capacités d'investissements de tout type d'investisseurs. (Baum, 2021)

En clair, chaque bien immobilier est géré par une société distincte qui est créée spécifiquement pour cet investissement. En général, cette société est une entité légale qui détient le titre de propriété du bien. Ensuite, lorsque des investisseurs souhaitent acquérir des tokens, ils achètent en réalité des parts de cette société, et donc indirectement des parts du bien immobilier lui-même. Celles-ci sont représentées sous forme de tokens numériques sur la blockchain, ce qui permet de bénéficier d'une gestion sécurisée des transactions et des droits de propriété. Les modalités de ces transactions sont gérées par des contrats intelligents qui exécutent automatiquement les termes préétablis du contrat sans nécessité d'une intervention extérieure. Ces contrats intelligents gèrent donc de manière automatisée le transfert de propriété et la distribution des revenus locatifs entre les détenteurs de tokens.

Par exemple, la société TokenEstate est une plateforme qui permet la tokenisation de biens immobiliers depuis sa première transaction en 2018. (Trouche, 2018) La société crée une entité légale pour chaque bien immobilier qu'elle souhaite tokeniser. Les investisseurs peuvent alors acheter des tokens représentant des parts de la société qui détient le bien immobilier. La gestion

de ces tokens et des transactions associées se fait sur la plateforme de TokenEstate, qui utilise la blockchain pour assurer la sécurité et la traçabilité de chaque opération.

La tokenisation de l'immobilier est une nouvelle approche innovante qui permet de favoriser une diversification plus grande et d'ouvrir l'immobilier à des marchés mondiaux. Grâce à sa capacité de fractionnement, la tokenisation permet de contourner les barrières traditionnelles des investissements dans l'immobilier comme les coûts élevés d'entrée et la gestion complexe des propriétés.

4.1.3 Accessibilité des investissements immobiliers

La tokenisation immobilière utilise la technologie blockchain pour sécuriser chaque transaction et garantir la transparence et l'authenticité des échanges. Les transactions peuvent être réalisées en ligne, simplifiant ainsi considérablement les processus administratifs et réduisant les coûts et délais associés aux transactions immobilières traditionnelles. Cette simplification rend l'investissement immobilier plus rapide et moins onéreux, permettant l'accessibilité de biens immobiliers à des investisseurs qui n'auraient pas pu y participer autrement.

L'un des exemples les plus parlants de la démocratisation de l'investissement immobilier grâce à la blockchain est le cas de l'hôtel particulier AnnA à Boulogne-Billancourt, en France. Ce bien a été vendu pour 6,5 millions d'euros et a été fractionné en 1000 parts, elles-mêmes divisées à nouveau par 1000, chacune de ces parts représentées par un token. Ces tokens ont permis de diviser la propriété en parties beaucoup plus petites, rendant l'achat accessible dès 6,50 € par token, illustrant parfaitement comment la tokenisation peut rendre les investissements immobiliers plus accessibles et ouvrir le marché à des investisseurs de tout horizon. (Raymond,2022)

4.2. Fonctionnement technique de la tokenisation

4.2.1 Transformation des intermédiaires traditionnels

La mise en place de la tokenisation immobilière peut engendrer quelques changements pour les professions déjà actives dans le domaine de l'immobilier. En effet, lors d'une transaction immobilière de nombreux acteurs rentrent en jeu ; entre un acheteur et un vendeur, on peut retrouver dans la plupart des cas un notaire, un agent immobilier, une compagnie d'assurances, un établissement bancaire ou bien encore l'Etat. Pour qu'une transaction se déroule correctement, il est essentiel que tous les intervenants se fassent confiance mais également

qu'ils bénéficient de toutes les informations nécessaires à chaque étape du processus. L'importance de cet échange d'informations présente un risque considérable car à la moindre perte de données, la transaction peut être ralentie voire même compromise. De plus, la présence de ces intermédiaires peut engendrer des frais supplémentaires, s'ajoutant au prix d'acquisition du bien immobilier en question. (Apostolescu, 2023)

Bien que cette section nous permette d'envisager comment la blockchain utilisée par la tokenisation peut avoir un impact non négligeable sur les problèmes cités ci-dessus, il est essentiel de comprendre que les notaires et autres intermédiaires traditionnels ne sont pas nécessairement éliminés, mais voient plutôt leurs rôles transformés de manière significative. La blockchain révolutionne la manière dont les transactions immobilières sont enregistrées, gérées et sécurisées, ce qui a un impact direct sur les fonctions traditionnelles de ces professionnels.

Premièrement, concernant l'asymétrie et la perte d'informations possibles lors des transactions, la Blockchain peut jouer un rôle déterminant pour améliorer la fluidité et le stockage de celles-ci. En effet, les agents immobiliers ont une place prépondérante dans le processus de transaction car ils ont la charge de mettre en relation l'acheteur et le vendeur, de conseiller et aussi de négocier. Ils jouent un rôle de centralisateur de l'information et la technologie Blockchain pourrait apporter une réelle plus-value à leur travail. Les caractéristiques de la Blockchain peuvent être mises en avant pour répondre à ce défi de nécessité de l'information en permanence. Grâce à son immutabilité et sa capacité d'horodatage, cette technologie permettrait aux agents immobiliers de bénéficier d'un flux d'informations en temps réel avec la chronologie dans laquelle les informations ont été fournies tout en empêchant leur suppression ou leur modification.

Par exemple la start-up Propy, active aux États-Unis, révolutionne le secteur immobilier en proposant un des services basés sur la technologie Blockchain. Cette plateforme permet aux agents immobiliers de gérer les transactions de manière plus efficace et transparente. Chaque étape du processus, depuis l'inscription des biens jusqu'à la finalisation de la vente, est enregistrée sur la Blockchain, ce qui assure une traçabilité et une sécurité non négligeables. De plus, grâce aux contrats intelligents, les paiements et autres conditions de transaction sont automatisés, réduisant ainsi les délais et les risques d'erreurs.

Propy a également développé un agent immobilier digital, à savoir une interface intelligente qui guide les utilisateurs tout au long du processus d'achat et de vente. Cet agent immobilier digital

centralise toutes les communications entre les parties, envoie des notifications en temps réel pour les mises à jour importantes, et facilite la signature électronique des documents. Il est capable de gérer les étapes critiques comme la vérification des documents, le suivi des paiements, et la coordination avec les notaires et les banques. En automatisant ces tâches et en fournissant un accès instantané aux informations pertinentes, l'agent immobilier digital de Propy améliore l'efficacité, réduit les délais de transaction, et offre une expérience utilisateur plus fluide et sécurisée. Cette approche innovante accélère les transactions, renforce également la confiance et réduit les coûts, offrant alors des services avantageux pour tous les participants du marché immobilier. (Doe, 2023)

Deuxièmement, la Blockchain peut également faciliter le travail effectué par l'intermédiaire le plus important du processus de transaction, qui est le notaire. En effet, celui-ci possède le monopole en matière de publication des actes de ventes immobilières. Toute personne désirant acheter ou vendre un bien doit passer devant un notaire afin de garantir l'authenticité de l'acte juridique, ce qui n'est pas le cas si les personnes décident de conclure la transaction en effectuant un acte sous seing privé. Le notaire a pour obligation de conserver ses actes notariés pour une durée de 75 ans, le nombre d'actes à stocker est donc exorbitant. (De Lamberterie, 2004) De plus, lors de la réalisation d'un acte, le travail de recherche d'un notaire est conséquent. Pour ce faire, celui-ci doit d'une part, récolter tout l'historique du bien mis à la vente dans l'acte et décrire de manière précise les caractéristiques dudit bien et d'autre part, doit composer les annexes de l'acte comme le plan cadastral ou encore les documents relatifs à des servitudes ou droits réels. Ce long processus de recherche d'informations peut alors imposer des délais plus longs et des coûts plus élevés en termes de nombre d'heures de travail effectuées. C'est pour cette raison que la technologie Blockchain peut apporter une valeur ajoutée, en offrant un registre distribué et sécurisé afin de limiter le temps accordé à ces recherches conséquentes. Les biens immobiliers sont non fongibles, ce qui signifie que chacun d'eux est différent et possède donc des caractéristiques bien distinctes. En utilisant la Blockchain pour stocker toutes les informations nécessaires liées à un seul bien, la manière d'accéder et d'exploiter l'information serait révolutionnée. Cette évolution permettrait un gain de temps et d'argent assez important que ce soit pour les notaires en termes de personnel mais aussi pour les acheteurs/vendeurs en termes de coûts associés au temps de travail nécessaire pour effectuer l'acte notarié.

Pour terminer, l'utilisation de la blockchain dans le secteur immobilier offre également des perspectives intéressantes pour les banques, notamment dans le cadre de la gestion des prêts hypothécaires et du financement des achats immobiliers. Traditionnellement, les banques jouent un rôle important en fournissant les capitaux nécessaires afin de réaliser l'acquisition de biens immobiliers. Cette opération est bien souvent considérée comme complexe et nécessitant une lourde documentation. La Blockchain, avec sa capacité à sécuriser et à automatiser les transactions, permet de simplifier et d'accélérer ces processus. Par exemple, elle peut permettre une vérification plus rapide de la solvabilité des emprunteurs grâce à un accès immédiat à leur historique financier détaillé et immuable, stocké sur la Blockchain. De plus, cette technologie peut automatiser l'émission et la gestion des prêts en utilisant des contrats intelligents qui exécutent les conditions de prêt en temps réel et ceux-ci permettant alors de minimiser les risques de défaut de paiement. Cela pourrait réduire les coûts administratifs et les frais de transaction pour les banques, tout en améliorant l'expérience acheteur/vendeur en diminuant les délais de traitement et en mettant en avant une transparence accrue.

4.2.2 Défis liés à ces transformations

Depuis 2019, les preuves issues de la blockchain peuvent être légalement produites en justice, leur valeur probante étant appréciée par le juge conformément au droit commun de la preuve. Cette reconnaissance légale ouvre la voie à une transformation significative du secteur immobilier, en particulier dans les pratiques des notaires et des agents immobiliers. Ces derniers doivent désormais acquérir des compétences en technologie blockchain pour comprendre et gérer les smart contracts. La maîtrise de cette technologie implique non seulement la capacité à configurer et à surveiller ces contrats, mais également à assurer leur conformité avec les réglementations en vigueur. En cas de disputes ou de dysfonctionnements, leur intervention devient cruciale, nécessitant une compréhension approfondie à la fois technique et juridique. (Blockchain, 2022)

Le rôle des notaires, traditionnellement centré sur la facilitation des transactions, est appelé à évoluer avec l'adoption de la blockchain. Plutôt que de se limiter à la certification des documents, les notaires pourraient se voir confier des missions de conseil juridique spécialisé, de surveillance de la conformité des smart contracts avec la législation locale et de certification de l'authenticité des parties impliquées dans les transactions. Cette évolution marque un passage d'un rôle largement administratif à un rôle plus proactif et consultatif, impliquant une responsabilité accrue dans la sécurité et la légalité des transactions immobilières.

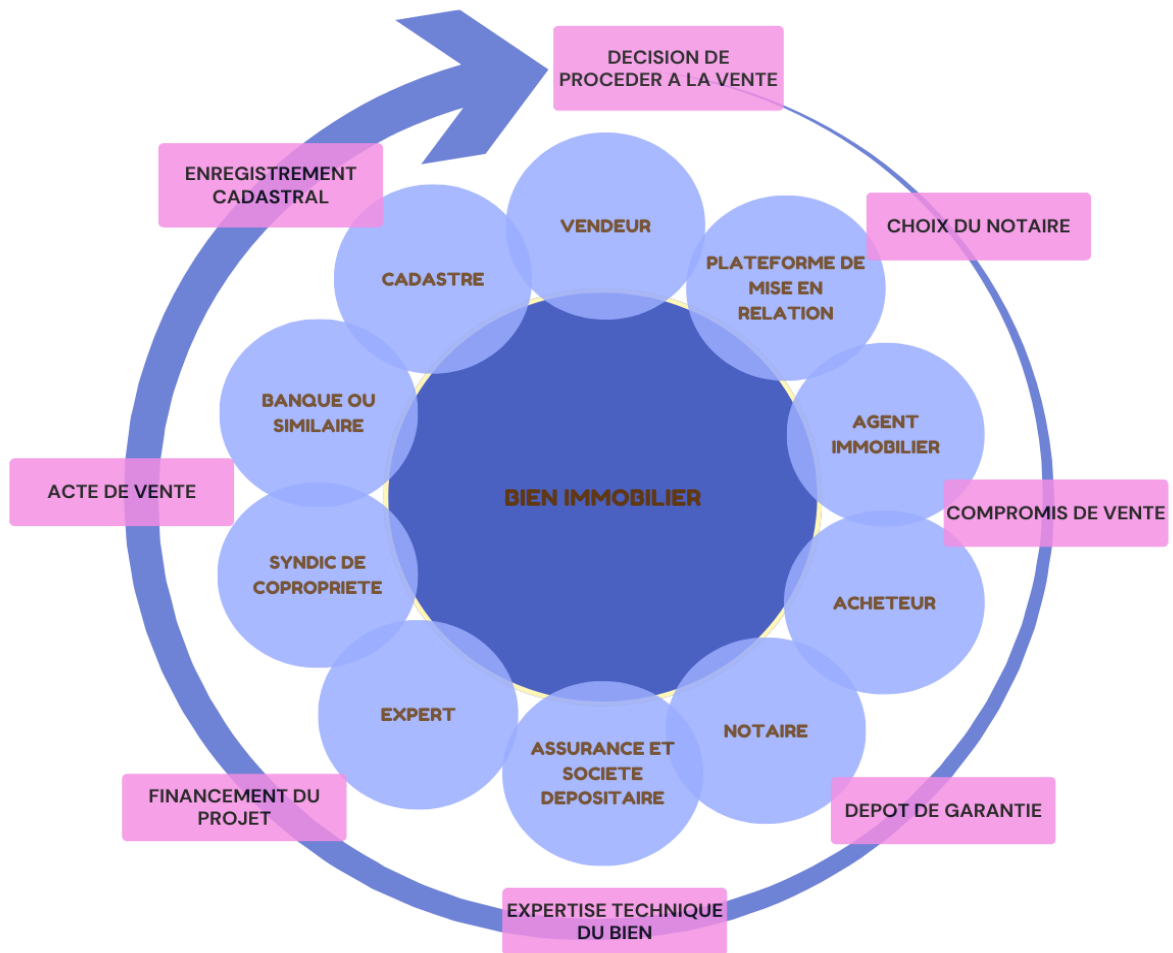
Cependant, l'intégration des smart contracts dans les transactions immobilières n'est pas sans défis. La légalité de ces contrats est encore un domaine relativement nouveau et en développement. Les juridictions varient grandement dans leur reconnaissance des smart contracts comme étant contraignants, ce qui pose des défis significatifs en termes de conformité légale et de résolution des litiges. Par exemple, un smart contract peut être parfaitement exécuté sur le plan technique, mais s'il ne respecte pas certaines formalités légales, sa validité pourrait être contestée en justice.

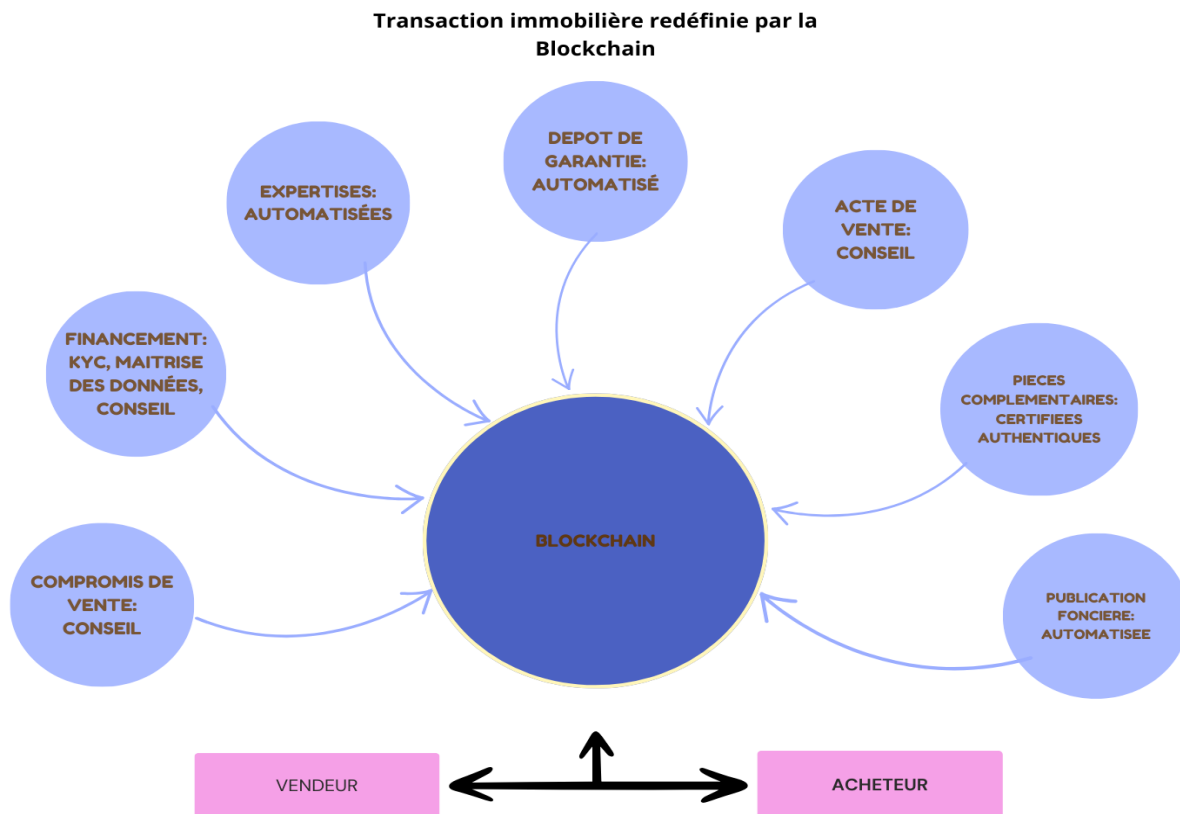
En conclusion, bien que les smart contracts offrent des opportunités transformationnelles pour automatiser et sécuriser les transactions immobilières, leur adoption réussie repose sur la capacité des professionnels de l'immobilier à s'adapter à ces nouvelles technologies et à naviguer dans un paysage juridique en évolution. La transition vers une utilisation généralisée des smart contracts promet de rendre les transactions plus rapides, transparentes et accessibles, mais elle exige également une formation continue, un ajustement des pratiques professionnelles, et une collaboration étroite entre technologues, juristes et professionnels de l'immobilier pour aligner efficacement la technologie avec les exigences légales.

4.2.3 Schémas expliquant le processus des transactions immobilières

Les deux schémas ci-dessous présentent une comparaison claire entre les transactions immobilières traditionnelles et celles réalisées par la technologie blockchain.

Transaction immobilière traditionnelle





Le premier schéma illustre le processus de transaction immobilière traditionnel, sans Blockchain. Ce processus implique de nombreux acteurs tels que des banques, des comptables, des experts, sociétés de conseil, syndicats, etc... Cette multitude d'intermédiaires contribue à un processus d'achat long et complexe. Le nombre d'étapes entre la décision de procéder à la vente et l'enregistrement cadastral est également très long et cela dure souvent plusieurs mois. Cela rend l'actif peu liquide car la revente des propriétés reste lente et difficile, ce qui impacte la flexibilité des investisseurs. De plus, la somme requise à l'entrée est trop élevée pour bon nombre de potentiels investisseurs. En ajoutant à cela les coûts élevés liés aux divers frais professionnels et administratifs, les petits investisseurs sont lésés.

Le second schéma montre la transaction immobilière redéfinie par la Blockchain. Au premier abord, on peut voir que la Blockchain joue le rôle central dans le processus, toutes les étapes gravitent autour de celle-ci. On peut également remarquer qu'il y a moins de paliers et que le système est plus optimisé. De plus, certaines phases sont automatisées par la technologie telle que l'expertise, le dépôt de garantie ainsi que la publication foncière. Notons que les acteurs présents dans une transaction immobilière traditionnelle sont les mêmes avec la blockchain, il y a juste de la désintermédiation. Leurs rôles, leurs rapports, leurs expertises deviennent consultables en temps réel sur la blockchain. Ce nouveau modèle de transactions permet de

gérer les actifs immobiliers plus efficacement et plus rapidement. En effet, ils sont divisés en parts (tokens) qui sont achetées par une multitude d'investisseurs via une société immobilière. Cette société détient les contrats d'investissement stockés sur la blockchain, ce qui garantit la sécurité et la transparence. De plus, la tokenisation des propriétés réduit le coût initial d'investissement et permet une vente ou un achat de parts via une plateforme en quelques minutes seulement, ce qui offre rapidité, flexibilité, mais surtout un marché plus liquide.

Nous détaillerons plus en détails tous les avantages de la Blockchain dans la prochaine section tout en nous penchant également sur les freins et aspects négatifs que cette technologie peut engendrer.

4.3 Avantages et inconvénients de la tokenisation de biens immobiliers

4.3.1 Avantages

L'utilisation de la tokenisation de l'immobilier peut apporter de nombreux avantages qui permettent de transformer l'approche traditionnelle de l'investissement immobilier. Cette section est dédiée à l'analyse plus en détail de ces avantages.

L'un des premiers avantages de l'utilisation de la tokenisation pour les transactions immobilières est sa capacité à rendre le marché immobilier plus liquide. Cette **liquidité accrue** est principalement due au fractionnement des investissements immobiliers. Les tokens, représentant des parts de propriétés immobilières et étant facilement échangeables, permettent aux investisseurs de liquider leurs investissements beaucoup plus rapidement que dans l'immobilier traditionnel en utilisant diverses plateformes Blockchain. De plus, la possibilité de vendre ou d'échanger des tokens sur des marchés secondaires améliore considérablement la liquidité des investissements immobiliers, offrant aux investisseurs la flexibilité de réajuster leur portefeuille rapidement en fonction de leurs besoins et opportunités. Cette liquidité accrue est également renforcée par l'élimination des coûts traditionnellement associés à des intermédiaires tels que les notaires. Les frais encourus se limitent principalement aux frais de « gaz », nécessaires pour exécuter les transactions sur les plateformes de Blockchain comme Ethereum, et restent néanmoins bien moindres comparés aux commissions et frais administratifs traditionnels (Gupta & al., 2020). Cette fluidité additionnelle, associée à la sécurité accrue fournie par la blockchain, positionne la tokenisation comme une innovation clé dans l'évolution de l'investissement immobilier, promettant une participation plus équitable et étendue dans le secteur immobilier.

Ensuite, l'avantage le plus important et le plus intéressant concernant la tokenisation de l'immobilier est la **démocratisation de l'investissement**. Il est clair que la tokenisation révolutionne l'investissement immobilier en permettant le fractionnement des propriétés. Cela signifie que les investisseurs peuvent acquérir des parts dans plusieurs propriétés à travers des tokens numériques, plutôt que d'investir une grande somme dans une seule propriété. Ce modèle réduit considérablement les risques associés à l'investissement immobilier en offrant une diversification plus large du portefeuille d'investissement. Par exemple, un investisseur pourrait choisir d'investir dans des tokens de plusieurs appartements dans différents quartiers ou villes, équilibrant ainsi les risques de fluctuation des valeurs immobilières locales. De plus, généralement l'entrée sur le marché immobilier nécessite des capitaux importants, ce qui limite l'accès à un cercle restreint d'investisseurs et empêche les personnes moins aisées de pouvoir profiter des avantages apportés par les investissements immobiliers. Grâce à la tokenisation, même un petit investisseur peut participer au marché immobilier. Le processus permet d'acheter des fractions d'une propriété, ce qui abaisse considérablement la barrière financière à l'entrée. Cette révolution dans le monde de l'immobilier est particulièrement intéressante pour les jeunes investisseurs ou pour les familles qui souhaitent acquérir leur résidence principale mais qui sont généralement découragés par les coûts trop importants. (Chow & Tan, 2022). Un autre aspect de la démocratisation de l'investissement est la flexibilité du financement qu'offre la tokenisation. Par exemple, un acheteur peut acquérir 50% de son bien et financer les 50% restants par des tokens, fonctionnant comme un paiement de loyer sur la moitié de son bien, avec la possibilité de racheter progressivement ces tokens auprès des différents investisseurs. Des smart contracts peuvent être mis en place pour permettre le rachat de ces tokens à certaines dates clés et sous certaines conditions. Ce mécanisme permet à un plus grand nombre de personnes d'accéder à la propriété de manière progressive et sécurisée, tout en offrant aux investisseurs des opportunités de rendement attractives.

Un autre avantage de la tokenisation de l'immobilier est le potentiel qu'elle peut offrir pour **optimiser la gestion** quotidienne du marché immobilier. La Blockchain apporte une plus-value non négligeable pour le marché de l'immobilier en optimisant la gestion des propriétés, la transparence des transactions, et la sécurité des données. En plus de la traçabilité, la Blockchain sécurise les données en offrant une documentation immuable de chaque transaction, de l'achat à la vente en passant par les transferts de propriété, garantissant une traçabilité et une visibilité complètes. En enregistrant chaque détail sur un registre décentralisé, la blockchain minimise les risques de fraude et renforce la confiance des investisseurs en leur offrant la certitude que

les transactions sont sécurisées, ce qui permet d'attirer davantage d'investisseurs. Un autre point positif qui aide également à améliorer la gestion est la gérance des revenus locatifs qui est révolutionnée grâce à la tokenisation et à la Blockchain. En effet, les investisseurs peuvent recevoir des paiements de loyers de manière fractionnée et régulière directement reliés aux tokens qu'ils détiennent. Ce système permet non seulement une fluidité et une régularité des revenus, mais aussi une précision plus importante dans la distribution des recettes, apportant ainsi une certitude rassurante dans les flux de trésorerie des investisseurs. Cette méthode innovante simplifie la gestion des propriétés en permettant aux propriétaires de suivre les paiements en temps réel, et aux locataires de s'acquitter de leurs loyers via des processus automatisés, réduisant ainsi les retards et les coûts administratifs.

En outre, la Blockchain se montre également très utile en ce qui concerne l'**optimisation de la gestion des informations** nécessaires durant les transactions immobilières. En effet, un autre avantage de la Blockchain est que l'investisseur n'a besoin de fournir ses informations qu'une seule fois, et celles-ci sont ensuite utilisées pour chaque nouvel investissement sans qu'il soit nécessaire de les resoumettre. Cette automatisation du processus de connaissance du client (KYC) simplifie grandement les démarches administratives pour les investisseurs, rendant le processus d'investissement plus rapide et plus efficace. Pour les investisseurs professionnels, la Blockchain offre également des avantages considérables. La recherche d'informations pour les fonds d'investissement, qui nécessite souvent le paiement d'un courtier, n'est plus nécessaire. En effet, toutes les informations sont stockées sur un registre public accessible, ce qui permet aux investisseurs d'obtenir rapidement et gratuitement les données nécessaires pour prendre des décisions éclairées. Cela améliore l'efficacité et réduit les coûts pour les investisseurs institutionnels et professionnels.

Enfin, la nature numérique et automatisée offerte par la Blockchain pour la tokenisation de l'immobilier permet de transformer profondément les méthodes traditionnelles de transaction immobilière. En intégrant la tokenisation, les **délais et coûts associés** aux processus d'achat et de vente de propriétés deviennent davantage réduits. Il est vrai qu'habituellement, les transactions immobilières sont réputées pour leur lenteur, souvent entravées par de longs processus administratifs qui peuvent s'étendre sur plusieurs semaines ou mois. Ce retard est dû à la nécessité de multiples vérifications, à la gestion des documents légaux, et à l'attente des approbations de diverses parties prenantes, telles que les banques, les agents immobiliers, et les notaires. Avec la tokenisation, la plupart de ces étapes sont automatisées. Les transactions peuvent être conclues en moyenne en seulement 24 heures grâce à la blockchain qui sert de

registre immuable et sécurisé, éliminant ainsi une grande partie des délais administratifs traditionnels. En plus de la rapidité, la tokenisation réduit considérablement les coûts associés aux transactions immobilières. En éliminant ou en réduisant le rôle des intermédiaires traditionnels, les coûts tels que les commissions et les honoraires juridiques sont diminués. Un point également important à souligner est que, puisque les transactions sont enregistrées directement sur la blockchain, les frais associés à la gestion et à l'archivage des documents physiques sont également réduits.

4.3.2 Inconvénients

Nous avons vu que la tokenisation dans le domaine immobilier ouvre de nombreuses opportunités, transformant la manière dont les propriétés sont achetées, vendues et gérées. Cependant, la mise en place d'une nouvelle technologie est souvent un processus long à intégrer dans le monde réel et la tokenisation de l'immobilier n'y fait pas exception. Etudions plus en détails les inconvénients auxquels cette technologie peut faire face.

Un des principaux inconvénients de la tokenisation immobilière est l'**absence d'effet de levier**. Dans le cadre traditionnel, les investisseurs ont souvent recours à des prêts pour financer une partie significative de leur achat immobilier, ce qui leur permet de maximiser leur potentiel de rendement. Toutefois, les banques et autres institutions financières sont généralement réticentes à financer l'achat de tokens en raison de la nature non traditionnelle et du manque de compréhension de ces produits financiers. Cette situation prive les investisseurs de la possibilité d'utiliser l'effet de levier, limitant ainsi leurs options d'investissement et potentiellement leurs retours sur investissement.

Bien que l'un des principaux avantages avancés par la tokenisation soit l'augmentation de la liquidité, en pratique, cette **liquidité peut être parfois limitée**. Les tokens immobiliers sont dépendants du marché sur lequel ils sont échangés, et si ce marché manque d'acquéreurs, la revente des tokens peut s'avérer difficile. Ce problème est amplifié en période de ralentissement économique ou de marché baissier, où la capacité à convertir rapidement les investissements en liquidités devient critique. Par conséquent, les investisseurs peuvent se retrouver dans une situation où ils détiennent des actifs illiquides, contrairement à leurs attentes initiales.

La **dépendance à la technologie Blockchain** représente également un obstacle significatif. Pour participer efficacement à la tokenisation immobilière, les investisseurs doivent non seulement comprendre les principes fondamentaux de la Blockchain, mais ils doivent

également faire confiance à cette technologie encore émergente. Pour certains, la complexité de la Blockchain peut être dissuasive, limitant l'adoption de la tokenisation comme moyen d'investissement immobilier. De plus, toute défaillance technologique ou problème de sécurité peut compromettre l'intégrité des investissements, augmentant ainsi les risques pour les participants.

Les **risques liés aux contrats intelligents** constituent une préoccupation majeure dans l'univers de la tokenisation, particulièrement dans le secteur immobilier où les enjeux financiers sont importants. Ces contrats, essentiels pour automatiser les transactions et les processus de gestion, sont des programmes exécutés sur des plateformes de blockchain. Cependant, ils sont susceptibles de présenter des failles potentielles. Les erreurs de codage, fréquentes même parmi les développeurs expérimentés, peuvent être mineures ou, dans certains cas, rendre les contrats intelligents vulnérables à des attaques, permettant par exemple à un acteur malveillant de retirer des fonds illégalement ou de modifier les termes du contrat sans accord des parties concernées. Les conséquences des erreurs dans les contrats intelligents peuvent être directes et significatives, entraînant par exemple la vente incorrecte de biens, des conflits entre acheteur et vendeur, ou des pertes financières importantes.

La transparence de la Blockchain, bien que bénéfique pour la traçabilité et la sécurité des transactions, pose d'importantes préoccupations en matière de **confidentialité**, notamment dans le domaine de la tokenisation immobilière. En effet, la nature publique des registres de la blockchain signifie que toute transaction est visiblement enregistrée et accessible à tous les utilisateurs du réseau. Cela inclut les détails des transactions immobilières, tels que l'identité des parties impliquées, les caractéristiques et le prix des actifs.

Le **cadre réglementaire** autour de la tokenisation immobilière est encore en développement et varie considérablement d'une juridiction à l'autre. Cette incertitude réglementaire crée un environnement d'investissement risqué, où les modifications des lois et des réglementations peuvent avoir des impacts imprévus sur la valeur et la légalité des tokens immobiliers. Cela peut décourager les investisseurs potentiels, en particulier ceux qui sont moins enclins à prendre des risques, et compliquer la gestion des investissements existants. Il est clair que le manque d'implications juridiques est un problème majeur dans le domaine de la tokenisation immobilière. En cas de corruption de la blockchain ou de failles de sécurité, les recours juridiques pour les investisseurs sont souvent mal définis et incertains. Par exemple, si la blockchain utilisée pour sécuriser les transactions immobilières est compromise, il peut être

extrêmement difficile pour un acheteur de savoir contre qui se retourner pour obtenir réparation. Les réglementations actuelles ne fournissent pas toujours des protections claires pour de telles situations, laissant les investisseurs potentiellement vulnérables à des pertes sans possibilité de récupération. Contrairement aux systèmes traditionnels surveillés par des autorités établies, la nature décentralisée de la blockchain et les variations juridiques entre juridictions compliquent les recours en cas de fraude ou de dysfonctionnement technologique. Cette absence de cadre légal robuste laisse les investisseurs dans une position vulnérable, sans protections adéquates pour naviguer dans ce paysage financier émergent.

Enfin, la **volatilité des prix** des tokens immobiliers peut être extrême, similaire à celle observée sur les marchés des cryptomonnaies. Cette volatilité peut être attribuée à plusieurs facteurs, dont la spéculation, les fluctuations du marché immobilier, et les dynamiques du marché des cryptomonnaies. Pour les investisseurs, cette volatilité peut signifier que les tokens immobiliers sont des investissements à haut risque, susceptibles de subir de grandes variations de prix en peu de temps, ce qui peut menacer la stabilité financière et les objectifs à long terme. Cependant, certaines plateformes utilisent des stablecoins, ce sont les crypto-monnaies telles que l'USDT ou le DAI qui sont adossées à une monnaie classique telle que l'euro ou le dollar. (Ichbiah, 2022) Investir sur une plateforme utilisant des stablecoins diminue donc la volatilité des prix étant donné que la seule instabilité est celle de l'euro ou du dollar.

Comparaison de la volatilité: stablecoin (USDT) vs Bitcoin (BTC)

Données du 12 juin 2023 au 20 mai 2024



Source : <https://coinmarketcap.com/fr/currencies/bitcoin/>

Dans ce graphique comparant la volatilité du stablecoin USDT avec le bitcoin, nous pouvons remarquer que l'USDT montre des variations de prix minimales, exactement la même chose que le dollar, montrant la stabilité d'une monnaie traditionnelle. Contrairement au bitcoin qui, lui, a atteint une volatilité de 150% entre le 12 juin 2023 et le 20 mai 2024.

Ces inconvénients mettent en lumière les risques et les limites de la tokenisation immobilière, soulignant l'importance d'une analyse minutieuse et d'une planification prudente avant de s'engager dans de tels investissements. Les investisseurs doivent être particulièrement vigilants à ces aspects pour naviguer efficacement dans ce nouveau paysage financier qui ne demande qu'à être régulé.

4.4 L'état actuel de la tokenisation immobilière

4.4.1 Les États-Unis, l'Europe et le reste du monde

Les États-Unis

Propy

Entreprise Américaine pionnière dans la redéfinition du rôle de l'agent immobilier en proposant une plateforme personnalisable qui facilite les transactions immobilières. L'utilisation de la blockchain et des signatures électroniques via DocuSign permet aux agents de suivre en temps réel toutes les étapes du processus, de la gestion des documents à la vérification des signatures et de la provenance des actifs. (Onimus,2020)

Bien que son action soit principalement centrée sur le marché américain, Propy a étendu ses activités en Europe, où elle a réalisé plusieurs transactions notables. En 2018, la société a marqué un tournant en vendant le premier bien immobilier européen via blockchain à Séville, utilisant la cryptomonnaie ETH (PR Newswire, 2018). Elle a également géré la cession d'un complexe scolaire et de terres à Valka, en Lettonie (Propy, 2019), ainsi que la mise aux enchères du manoir Palazzetto en Italie, estimé à 42 millions de dollars.

Propy a récemment fait les gros titres avec deux événements significatifs. En 2020, elle a participé à l'enregistrement des cadastres de la ville de Burlington, Vermont, sur la blockchain, marquant une étape importante dans l'adoption de cette technologie aux États-Unis (Lecamus, 2020). Plus récemment, elle a réalisé la vente aux enchères d'un appartement à Kiev, Ukraine, ainsi que d'une œuvre d'art numérique, tous deux via des jetons non fongibles (NFT), ce qui a démontré la polyvalence et l'innovation de ses services dans le domaine de la propriété numérique (Blain, 2021).

R3 Corda

Fondé en 2015, R3 est un consortium regroupant quarante sociétés influentes du secteur financier, y compris des banques de renom telles que Barclays, Société Générale et Deutsche Bank. Le consortium a développé Corda, une plateforme de technologie de registre distribué (DLT), en réponse aux limitations observées dans les blockchains publiques (Nicolas, 2019a). Corda se décline en deux versions : une version open source, Community, qui facilite les transactions et la création de contrats, et une version plus adaptée aux besoins spécifiques des entreprises (Nicolas, 2019b).

La plateforme Corda est caractérisée par son modèle semi-privé et semi-partagé. Les utilisateurs doivent authentifier leur identité auprès d'un gestionnaire d'accès, et chaque nœud de la plateforme n'a accès qu'aux informations strictement nécessaires à ses opérations, ce qui assure une grande confidentialité des données (Nicolas, 2019a). Un élément clé de cette structure est le notaire, responsable de garantir l'unicité des mises à jour du registre, ce qui contribue à la sécurité et à l'intégrité des transactions.

R3 Corda a également mis en œuvre un Proof of Concept (PoC) en collaboration avec plusieurs banques pour développer une plateforme mutualisée simplifiant la procédure de Know Your Customer (KYC), améliorant ainsi la gestion des données tout en renforçant leur confidentialité. En outre, la plateforme a été sélectionnée par le registre foncier de Sa Majesté au Royaume-Uni (Her Majesty's Land Registry) pour le projet Digital Street. Ce projet vise à enregistrer les propriétés foncières et à explorer l'efficacité des contrats intelligents pour améliorer les transactions immobilières, avec une première vente de maison réalisée via cette technologie en 2019 (Cruickshank, 2018; Ledger Insights, 2019).

Coinbase

Lancée en 2012, Coinbase est rapidement devenue une plateforme leader dans l'achat et la vente de cryptomonnaies, initialement centrée sur le Bitcoin. Fondée sur les principes de transparence, sécurité, équité et accessibilité, Coinbase a élargi son offre pour inclure une cinquantaine de cryptomonnaies, permettant ainsi une démocratisation de la cryptoéconomie à l'échelle mondiale.

En 2021, Coinbase a marqué un jalon important en entrant en bourse sur le Nasdaq, atteignant une valorisation de 86 milliards de dollars, un record pour une entreprise américaine dans ce secteur. (Afp, 2021) Au premier trimestre de la même année, la plateforme a enregistré un

volume de transactions estimé à 335 milliards de dollars, avec un bénéfice net de 771 millions de dollars, ce qui témoigne de son influence et de sa stabilité financière sur le marché (Vergara, 2021). Avec 68 millions d'utilisateurs vérifiés, 9,000 institutions et 160,000 partenaires, Coinbase a solidifié sa position en tant que pilier de la finance numérique (Coinbase.com).

En 2020, la branche institutionnelle de Coinbase, Coinbase Custody, a signé un accord significatif avec RedSwan CRE, une plateforme dédiée à la tokenisation de l'immobilier commercial. Cet accord vise à offrir aux investisseurs en cryptomonnaies un accès direct à des actifs immobiliers de qualité institutionnelle sous forme de titres numériques, facilitant ainsi l'inclusion de l'immobilier dans les portefeuilles numériques sans nécessiter de conversion en monnaies fiat, qui sont des devises traditionnelles comme le dollar, l'euro ou le yen, émises par les gouvernements. Ed Nwokedi, CEO de RedSwan XRE Marketplace, a souligné cet arrangement comme un tournant majeur pour le secteur, en permettant une intégration plus fluide de l'immobilier dans l'économie numérique.

Cette convergence entre la finance numérique et l'immobilier illustre bien la capacité de Coinbase à innover et à étendre l'usage des cryptomonnaies au-delà des transactions traditionnelles, renforçant ainsi son rôle de leader dans la transformation numérique globale du secteur financier et immobilier.

IBREA

Fondée en 2013, l'International Blockchain Real Estate Association (IBREA) s'est positionnée comme un moteur clé dans la modernisation des pratiques immobilières à travers l'utilisation de la blockchain et de la tokenisation. L'association a pour mission de transformer le secteur immobilier en exploitant ces nouvelles technologies pour rendre les transactions plus transparentes, sécurisées et efficaces.

L'IBREA ne se contente pas de théoriser sur les potentialités de la blockchain, elle s'engage activement dans la recherche et le développement pratique. Pour ce faire, elle a établi cinq groupes de travail axés sur des aspects critiques de la blockchain dans l'immobilier : la tokenisation des actifs, l'identification universelle de propriété, l'acceptation des cryptomonnaies pour les paiements, l'utilisation de la blockchain pour les titres de propriété et les transferts, ainsi que pour la gestion des données immobilières. Ces groupes de travail permettent aux professionnels de l'industrie de collaborer et de contribuer au développement de solutions adaptées aux enjeux spécifiques du secteur.

En plus de son travail de développement, l'IBREA joue un rôle important dans la diffusion de connaissances et la mise en réseau. Elle organise régulièrement des événements et des conférences qui rassemblent des acteurs clés du domaine immobilier et de la blockchain, facilitant ainsi l'échange d'idées et la collaboration entre les entreprises. L'association offre également des services de conseil et publie fréquemment des articles pour tenir le secteur informé des dernières tendances et avancées.

Meridio

La société a tokenisé un immeuble de bureaux à Brooklyn, New York, et a permis à des investisseurs internationaux d'acheter des parts. Cela a non seulement simplifié les procédures d'investissement mais a également ouvert de nouvelles avenues pour des revenus en devises étrangères pour des investisseurs hors des États-Unis.

Exemples de bien tokenisés aux Etats-Unis

St. Regis Aspen Resort

En 2018, le recours à la technologie blockchain a permis de tokeniser un complexe de luxe, comprenant un hôtel et des condominiums, situé à Aspen, Colorado, États-Unis. Cette initiative a offert aux investisseurs la possibilité d'acquérir des parts de propriété fractionnées sous forme de jetons de sécurité. Cela a ouvert l'accès à des investissements dans des biens de prestige, qui étaient auparavant inaccessibles pour de nombreux investisseurs en raison des coûts élevés. (Key,2023)

Dallas Apartment Complex

Dans la ville de Dallas, un immeuble de 250 unités résidentielles a proposé des options tokenisées aux investisseurs. Pour ce projet d'une valeur de 47 millions de dollars, l'entreprise de développement a réussi à lever 6,5 millions de dollars auprès des investisseurs grâce à la tokenisation. Ce processus offre une flexibilité accrue pour les investisseurs intéressés par le marché immobilier, en leur permettant d'entrer dans le projet avec des capitaux potentiellement plus limités. (Key,2023)

Salt Lake City Townhome Community

Un complexe de maisons de ville multifamiliales à Ogden, Utah, a également été tokenisé, offrant aux investisseurs la possibilité de participer avec un investissement minimum de 1 000 dollars. Le projet visait un taux de rendement interne (TRI) de 16,8%. La tokenisation permet ici aux petits investisseurs d'entrer sur le marché immobilier avec un seuil d'entrée bas tout en visant des rendements compétitifs. (Key,2023)

L'Europe

Belgique

La start-up belge Immotokens, basée à Gand, propose d'investir dans l'immobilier via la technologie blockchain, à partir de 50 euros. Actuellement, elle offre un seul bien d'investissement : une maison étudiante à Ixelles, promettant un rendement net annuel de 3,1%. (Meijnen, 2021)

Immotokens divise virtuellement les biens en 10.000 parts, permettant ainsi des investissements accessibles à un plus grand nombre de personnes. Chaque part donne droit à un dix-millième des revenus locatifs et de la valeur de vente ultérieure.

Les investisseurs achètent des jetons numériques qui génèrent des revenus locatifs, mais sans devenir copropriétaires du bien. Immotokens conserve le contrôle total des propriétés et les jetons sont sécurisés par les biens immobiliers de l'entreprise. La start-up prélève des commissions sur l'achat des jetons et la vente des biens. Immotokens est en pourparlers pour permettre des investissements dans des propriétés plus importantes, comme des supermarchés ou des bureaux.

A noter également qu'en Belgique, des investissements tels que l'immobilier de grande envergure ou le capital-investissement deviennent accessibles à tous. Par exemple, vous pourrez acheter une petite part d'un immeuble, comme l'imprimerie de la Banque Nationale, avec un investissement minimal de 50 ou 100 euros. La Belgique a le potentiel de devenir un hub européen pour les entreprises de tokenisation, grâce à son écosystème favorable à l'innovation et à la collaboration entre start-ups locales, institutions financières et régulateurs. Avec des entreprises prometteuses telles que Keyrock, Settlemint, Logion et Venly, la Belgique dispose déjà des ressources nécessaires pour être à l'avant-garde de cette révolution financière. (Ullens, 2024) Cependant, nous sommes au début de cette révolution, il n'y a pas encore beaucoup de possibilité d'acheter des parts d'un actif immobilier dans notre pays. Nous avons beaucoup d'entreprises en plein développement sur ce sujet et nous pouvons voir que la Belgique s'est positionnée sur cette technologie.

Tokenestate

La société franco-suisse, créée en partenariat avec la Banque cantonale neuchâteloise (BCN), est un acteur clé de la tokenisation immobilière en Europe. Elle a développé une plateforme innovante permettant l'émission de "Real Estate Tokens" (RETos) qui transforment la manière

dont les investissements immobiliers sont réalisés. Ces tokens offrent aux investisseurs une exposition directe aux performances d'un portefeuille d'actifs détenus par la société émettrice, avec des avantages en termes de protection supérieure comparée aux cryptomonnaies (CFNEWS.IMMO, 2018).

Vincent Trouche, fondateur et CEO de Tokenestate, explique que les RETOs permettent de lever des fonds directement auprès des investisseurs, sans l'intermédiation des banques d'affaires ou des courtiers. Cette méthode ouvre l'investissement immobilier à une audience globale, sans montant minimum et avec des coûts transactionnels réduits. Les investisseurs peuvent ainsi accéder facilement à des portefeuilles d'actifs immobiliers internationaux (Dubuc, 2021) La première transaction via la plateforme a été réalisée en novembre 2018.

Tokenestate ne se limite pas à l'émission de tokens; elle propose également une gestion complète des relations avec les investisseurs, incluant la numérisation des processus et la gestion des droits de vote. La plateforme s'appuie sur une combinaison d'expertise juridique, technique (smart contracts, développement logiciel, bases de données privées), et d'expérience utilisateur orientée vers la pédagogie.

Luxembourg

Pour ce point, nous avons eu le privilège d'assister à une conférence organisée par LuxReal (association immobilière luxembourgeoise). Cet événement était organisé le 5 décembre 2023 à la Banque Internationale à Luxembourg. Nous avons pu assister à une discussion approfondie sur la tokenisation immobilière entre Jerry Grbic, CEO de l'ABBL (Association des banques et banquiers Luxembourg) et Jean-Paul Scheuren, co-fondateur des deux sociétés que nous allons étudier ci-dessous ; BlocHome et LetzToken. Le débat était animé par la problématique du manque de liquidité dans le marché immobilier luxembourgeois, mentionné par Monsieur Grbic. Problèmes auxquels Monsieur Scheuren a tenté d'apporter des solutions en expliquant les principes, avantages et risque de la tokenisation immobilière.

BlocHome

BlocHome cherche à démocratiser l'accès à l'investissement immobilier en réduisant les coûts de conformité et d'administration de 90 % grâce à la tokenisation. Utilisant la plateforme de Tokeny, ils permettent aux investisseurs d'acquérir progressivement des actifs immobiliers avec une barrière d'entrée abaissée à 1000 euros. (Tokeny, 2023)

Les différents points clés :

- Onboarding et KYC digitaux : Tout le processus d'inscription et de vérification d'identité est 100 % numérique.
- Économie de coûts : La tokenisation réduit les coûts administratifs et de conformité de 90 %.
- Fractionnalisation : Les biens immobiliers sont divisés en petites parts, accessibles via des tokens, ce qui améliore la liquidité et rend l'investissement plus abordable.
- Programmabilité : Les règles de conformité sont intégrées dans les tokens, facilitant ainsi les transactions et le trading secondaire.
- Transférabilité : Les tokens permettent des transferts d'actifs de pair à pair, augmentant la liquidité.

BlocHome a lancé la résidence CLAPTON, un projet de tokenisation soutenu par les autorités locales. Ils ont collaboré avec CMS et Finimmo pour préparer la documentation nécessaire pour l'offre publique non réglementée. BlocHome a choisi les solutions de Tokeny pour surmonter les défis techniques liés à la tokenisation et à l'intégration des règles de conformité. La plateforme utilise des tokens permissionnés (ERC-3643) et des identités numériques pour garantir la propriété des actifs et réaliser une conformité.

La plateforme T-REX de Tokeny a permis une gestion rapide et économique des actifs tokenisés. L'intégration de la solution Billboard est prévue pour permettre des transferts de pair à pair, libérant ainsi la liquidité de ces actifs historiquement illiquides. BlocHome a attiré environ 800 investisseurs potentiels dès le premier mois, démontrant l'efficacité de leur modèle.

Letztoken

Letztoken est une entreprise luxembourgeoise spécialisée dans la tokenisation, fondée en 2021. Elle offre une solution complète pour aider les entreprises à lever des fonds et à concrétiser leurs projets en utilisant la technologie de la blockchain. Letztoken se positionne comme un guichet unique pour la tokenisation immobilière et d'autres actifs, permettant ainsi d'ouvrir des actifs illiquides à un nouveau pool de capitaux et de rendre les entreprises plus attractives pour les investisseurs (Letztoken, 2022))

Letztoken est particulièrement active dans l'écosystème des startups et de l'innovation au Luxembourg. Elle joue un rôle clé dans la promotion de l'adoption des technologies de la blockchain, des cryptomonnaies et des NFT dans divers secteurs, y compris l'immobilier et la finance (Silicon Luxembourg, 2022)

Estonie

Ce pays, reconnu pour son adoption précoce des technologies numériques, a développé sa propre blockchain nommée « Ksi ». Cette technologie est principalement axée sur la sécurité des données privées et la protection des réseaux et des systèmes. Selon PwC, en 2019, la solution Ksi est maintenant utilisée dans 180 pays et s'applique à divers secteurs, incluant la justice et l'identité numérique. L'Estonie se distingue comme le premier pays à implémenter la blockchain à l'échelle nationale, une initiative prise en réponse aux cyberattaques massives qu'elle a subies en 2007. Cette approche vise à garantir l'intégrité des données administratives (Magee, 2018).

En parallèle, le gouvernement estonien a établi un partenariat novateur entre son programme « e-residency » et Bitnation. L'e-residency offre à des non-résidents la possibilité d'obtenir une nationalité numérique, leur permettant de devenir des « e-résidents ». Bitnation, quant à elle, est une plateforme collaborative qui ambitionne de créer une nation virtuelle basée sur la blockchain. Cette synergie permet aux e-résidents d'utiliser des services de certification, tels que le « Public Notary » de Bitnation, pour la signature de contrats commerciaux et d'autres formalités légales (Fredouelle, 2016).

Projet Madre

Initié par la Banque de France, le projet Madre représente une innovation notable dans le domaine des identifiants créanciers SEPA. Traditionnellement, la délivrance de ces identifiants nécessitait environ 15 jours ; avec Madre, ce processus est réduit à quelques secondes, facilitant grandement les transactions pour les entreprises désireuses de réaliser des prélèvements directs (Armandet, 2018). Ce gain de temps considérable optimise les opérations bancaires au niveau national, démontrant l'efficacité de l'intégration de nouvelles technologies dans les systèmes financiers traditionnels.

Solution Equisafe

En France, Equisafe se concentre sur la tokenisation des actifs immobiliers. Utilisant un dispositif électronique d'enregistrement partagé (DEEP) basé sur la technologie blockchain, Equisafe transforme les registres de mouvements de titres des sociétés non cotées, offrant une valeur probatoire équivalente à celle des registres papier. Cette innovation est rendue possible grâce à la loi Sapin II et ses décrets subséquents, qui définissent et encadrent l'usage de la DEEP (Bertoïa, 2020).

Equisafe ne se limite pas à la digitalisation des registres ; elle vise également à fluidifier et dynamiser le marché secondaire des actifs immobiliers traditionnellement illiquides. Cela se traduit par la simplification des processus juridiques de souscription, gestion, et cession de titres, tout en facilitant l'interaction entre actionnaires et investisseurs. Un exemple notable de cette application est l'opération « AnnA », la première transaction immobilière en France utilisant la tokenisation. Elle concernait un hôtel particulier à Boulogne-Billancourt, valorisé à 6,5 millions d'euros, qui a été acquis via une société par actions simplifiée (SAS) en juin 2019 (Equisafe, 2019).

Equisafe a également exploré la tokenisation d'une annexe du château de Versailles, illustrant ainsi le potentiel de cette technologie pour des projets immobiliers de grande envergure (Tezos Foundation, 2020). En outre, la plateforme facilite les phases de levée de fonds sur le marché primaire, en automatisant les vérifications KYC/AML, la réception des fonds, et l'émission des titres.

Capelli

C'est un acteur majeur de la promotion immobilière et qui est présent en France, en Suisse et au Luxembourg, avec cinq implantations stratégiques. Ses activités diversifiées couvrent la promotion immobilière, l'investissement locatif, et le commerce de biens, touchant aussi bien le secteur résidentiel que tertiaire.

En décembre 2019, une étape importante a été franchie par le groupe avec le financement partiel, à hauteur de 3,1 millions d'euros, du projet "Le Domaine d'Hestia" situé à Saint-André-Lez-Lille dans les Hauts-de-France. Cette opération marque la première incursion de Capelli dans le monde de la tokenisation immobilière (Capelli, 2019). Le Domaine d'Hestia est un ambitieux programme qui intègre des constructions neuves et la réhabilitation d'un ancien hôpital, comprenant plus de 450 appartements ainsi qu'une résidence services pour seniors.

Cette opération de tokenisation a été menée en collaboration avec Wecan Tokenize, une plateforme spécialisée dans la tokenisation de biens immobiliers. Wecan Tokenize est issue d'une collaboration entre Wecan Group (pour l'aspect technique), Geneva Management Group (pour le financement), et le groupe Capelli lui-même. Les investisseurs qualifiés, au nombre d'une dizaine, qui ont participé à cet emprunt obligataire ont reçu des tokens en contrepartie, offrant un rendement fixe de 7,5 % par an.

Blockimmo

C'est une entreprise suisse qui a développé une marketplace dédiée à la simplification de l'achat et la vente de biens immobiliers. Cette plateforme agit comme intermédiaire entre les vendeurs et les investisseurs, en encadrant les aspects réglementaires et juridiques des transactions immobilières tout en s'assurant de la qualité des actifs proposés.

Le fonctionnement de Blockimmo repose sur la tokenisation des propriétés listées sur la plateforme. Les vendeurs peuvent y inscrire leurs biens, après quoi Blockimmo procède à leur tokenisation, transformant ainsi le bien immobilier en tokens numériques. Ces tokens représentent des parts de propriété dans l'actif immobilier, permettant aux investisseurs d'acheter ou de vendre ces parts facilement. Selon Mittal (2019), les vendeurs ont la possibilité de définir diverses limites et conditions pour la vente, et une fois la transaction finalisée, chaque investisseur reçoit des tokens représentatifs dans son portefeuille numérique. Ces tokens, basés sur des smart contracts sur la blockchain Ethereum, confèrent aux investisseurs des droits et obligations liés au bien immobilier, y compris des revenus potentiels générés par l'actif.

La valeur des tokens est directement liée à celle du bien immobilier, ce qui signifie que si la valeur de l'immeuble augmente, la valeur des tokens augmente également. La première opération notable de Blockimmo a eu lieu en mars 2019, concernant un immeuble à Baar, en Suisse. Cet immeuble comprenait 18 logements et un commerce (restaurant), et les tokens émis représentaient 20% de la valeur de l'immeuble, soit environ 3 millions de francs suisses (Blockimmo, 2021).

Cette transaction a été réalisée en collaboration avec Elea Labs, une startup blockchain spécialisée dans l'immobilier, et Swiss Crypto Tokens, une société de gestion d'actifs numériques. Elea Labs a contribué en veillant à ce que chaque immeuble possède une identité ou un « Property ADN », ce qui facilite la due diligence. De son côté, Swiss Crypto Tokens a apporté son stablecoin « CryptoFranc (XCHF) », indexé sur le franc suisse, pour financer la transaction, minimisant ainsi les risques de volatilité pour les investisseurs.

La tokenisation de l'Immeuble In & Out à Boulogne-Billancourt

En juin 2019, une transaction notable a été réalisée pour l'immeuble In & Out situé à Boulogne-Billancourt, lors du Marché international des professionnels de l'immobilier (Mipim) PropTech. Primonial REIM, en collaboration avec la Société foncière lyonnaise (SFL) et la start-up

Olarchy, ont réussi à reproduire une transaction immobilière complexe sur la blockchain. L'immeuble concerné couvre une superficie de 35 000 m² dans l'ouest parisien.

Le processus a consisté à décomposer et à digitaliser chaque étape d'une transaction immobilière. Les grandes étapes comprenaient la préparation de la vente avec la création d'une data room regroupant toutes les données et documents importants de l'immeuble pour les acheteurs potentiels. Cette phase est suivie par les interactions commerciales, notamment la sélection et le travail avec des agents immobiliers pour la présentation de l'actif aux prospects. Ensuite, la partie notariale joue un rôle crucial, permettant aux prospects de négocier et de vérifier les informations contenues dans la data room notariale.

Un système de blockchain a été développé pour intégrer et répliquer ces étapes de manière numérique, permettant :

- L'identification des parties prenantes et le dépôt de documents de preuve ;
- La visualisation des différentes étapes de la transaction via un tableau de bord ;
- L'enregistrement sécurisé de toutes les informations et documents dans la blockchain, garantissant l'intégrité des données.

Pour finir cette section sur l'état actuel de la tokenisation immobilière, il est primordial de terminer avec des chiffres clés. En 2022, la taille du marché de la tokenisation immobilière était estimée à 2,7 milliards de dollars et devrait bondir à 18,2 milliards de dollars d'ici 2032 (Dulub, 2023). Une estimation qui est considérée comme basse par les professionnels de l'investissement immobilier qui estiment que la taille du marché sera bien supérieure à cette estimation grâce à l'adoption de la tokenisation de l'immobilier par des entreprises importantes comme Primonial dont le portefeuille s'estime à plus de 40 milliards de dollars. Sachant que le marché immobilier mondial est évalué à 317 000 milliards de dollars (Bali, 2024), la tokenisation immobilière actuelle représente moins d'un pourcent du marché total. Voyant donc tout le potentiel de parts de marché à acquérir grâce à une technologie qui n'est encore qu'à ses prémices, ce sont des milliers de sociétés qui se développent chaque année pour tenter de prospérer sur un marché à fort potentiel.

Aux États-Unis, le concept de tokenisation immobilière a rapidement gagné du terrain grâce à une combinaison de facteurs technologiques, économiques et réglementaires favorables. Les autorités réglementaires, telles que la Securities and Exchange Commission (SEC), ont

commencé à fournir des cadres clairs pour les offres de tokens de sécurité (STO), permettant aux entreprises de lever des fonds en conformité avec la législation fédérale. Cela a encouragé de nombreux acteurs du marché, de startups technologiques aux fonds d'investissement, à explorer la tokenisation comme moyen de liquéfier des actifs immobiliers et de les rendre accessibles à un public plus large.

En Europe, la situation est un peu plus complexe en raison de la diversité des réglementations nationales. Cependant, avec l'introduction de législations telles que la MiCA (Markets in Crypto-Assets) par l'Union européenne, il y a des efforts en cours pour harmoniser les règles autour des crypto-actifs, y compris les tokens immobiliers. Des pays comme l'Allemagne et la France ont vu des projets pilotes émerger, où des bâtiments commerciaux et résidentiels ont été tokenisés, offrant ainsi une nouvelle forme d'investissement immobilier sur le continent.

4.4.2 Facteurs expliquant la prédominance des États-Unis

Comme en témoigne la section précédente, il est clair que les États-Unis démontrent une dominance majeure dans le marché de la tokenisation immobilière. Cette prédominance par rapport aux autres pays du monde peut être expliquée par différents facteurs que nous allons détailler ci-dessous.

Premièrement, les États-Unis sont reconnus pour être un pays qui favorise les innovations technologiques, comme peut en témoigner la présence d'un grand nombre d'entreprises de pointe dans le secteur de la Blockchain. Cette concentration de compétences et de ressources technologiques facilite le développement et l'adoption rapide de nouvelles applications, notamment dans la tokenisation immobilière. L'existence de hubs technologiques tels que la Silicon Valley soutient un environnement où les innovations peuvent être rapidement testées, adaptées et mises sur le marché.

Deuxièmement, l'accès au capital-risque joue un rôle essentiel dans le développement des technologies émergentes comme la tokenisation. Le capital-risque est défini par Ménard P. comme étant « *des investissements en fonds propres dans des entreprises technologiques non cotées à fort potentiel, en phase de création ou de développement, par le biais d'investisseurs apportant réseaux, connaissances et compétences, en vue de développer l'entreprise et dégager une plus-value lors de la transmission de capital* ». Le secteur du capital-risque est réputé pour être très développé aux États-Unis, où il représente plus de la moitié du PIB. (Belaid, 2023) Cette dynamique nationale de capital-risque aide les startups qui travaillent sur des projets de

blockchain et de tokenisation immobilière en leur permettant de trouver des investisseurs prêts à financer des idées nouvelles même si celles-ci peuvent parfois à première vue paraître risquées. Les entreprises technologiques aux États-Unis, en particulier les start-ups dans le domaine de l'intelligence artificielle (IA), peuvent atteindre des valorisations d'un milliard de dollars avant même de générer le moindre revenu. Cette tendance est alimentée par l'enthousiasme des investisseurs pour le potentiel futur de ces technologies. Par exemple, des entreprises comme Inflection AI et Anthropic ont levé des milliards de dollars, atteignant des valorisations impressionnantes malgré une absence de revenus significatifs. (Metinko & Metinko, 2024) Cette disponibilité de fonds permet aux startups américaines de tester des concepts innovants et de les amener rapidement sur le marché. Ainsi, l'accès au capital-risque aux États-Unis est une des raisons significatives qui permettent d'expliquer la position du pays en tant que leader dans le domaine de la tokenisation de l'immobilier.

Un autre point important qui permet d'expliquer la prédominance des États-Unis dans le domaine de la tokenisation immobilière est leur cadre réglementaire progressiste, qui favorise le développement technologique. Les États-Unis ont souvent été parmi les premiers à adopter des approches de "sandbox réglementaire", permettant aux entreprises de travailler sur des technologies de pointe sans être freinées par des lois strictes ou des réglementations obsolètes. (Sherkow, 2022) De plus, des régulateurs comme la Securities and Exchange Commission (SEC) et la Commodity Futures Trading Commission (CFTC) montrent qu'ils sont ouverts à la collaboration avec des entreprises travaillant sur des projets innovants, y compris la blockchain et la tokenisation immobilière. Cette opportunité a permis aux startups de se concentrer sur l'innovation sans crainte de sanctions réglementaires immédiates. (Moffett, 2022) Un exemple pour illustrer cette ouverture d'esprit concernant l'innovation technologique est la formation du "FinHub" par la SEC. FinHub est un bureau dédié à l'innovation financière et donc également à la nouvelle technologie Blockchain. Cette initiative permet alors d'attirer de nombreuses startups qui désirent se lancer dans ces nouvelles technologies. (Johnson & al., 2022)

Un autre avantage de la réglementation américaine est la présence de règles spécifiques concernant les titres et les actifs financiers tokenisés. Entre autres, la SEC a publié des lignes directrices sur les "Security Token Offerings" (STO). Pour rappel, STO est un système par lequel des entreprises émettent des tokens numériques sur une blockchain et ces tokens représentent des actifs financiers, comme des actions, des obligations ou des participations dans des fonds. Contrairement aux « Initial Coin Offering » (ICO) qui sont souvent non réglementés,

les STO sont soumis à des réglementations strictes. Ces lignes directrices permettent de garantir la protection des investisseurs en obligeant les entreprises qui émettent ces STO à se conformer aux lois sur les valeurs immobilières. Ces entreprises, localisées aux Etats-Unis, doivent par exemple s'enregistrer auprès des autorités compétentes ou doivent utiliser des exemptions comme la régulation D ou la régulation A+. (Perzhanovskiy, 2023) Ces exemptions sont des législations américaines sur les valeurs mobilières qui permettent aux entreprises de lever des fonds sans avoir à s'enregistrer auprès de la SEC comme c'est le cas dans une introduction en bourse traditionnelle. Ces exemptions offrent alors des voies simplifiées et moins coûteuses pour le financement. Toutes ces règles ont permis d'instaurer une certaine confiance parmi les investisseurs, ce qui a créé un environnement de croissance pour des initiatives comme la tokenisation de l'immobilier.

Pour terminer avec la législation, il est également important de souligner que les Etats-Unis offrent des politiques fiscales incitatives et des mesures favorables à l'innovation. Certaines lois concernant les entreprises, comme le « Delaware General Corporation Law », offrent des avantages significatifs aux startups. Ces avantages peuvent être des financements flexibles ou encore des options d'actions pour les employés. (Saunders & al., 2022) Ce cadre juridique a rendu les États-Unis particulièrement attractifs pour les entreprises de blockchain et de tokenisation immobilière.

Ensuite, de nombreuses banques et institutions financières importantes aux Etats-Unis ont décidé d'adopter la technologie Blockchain pour la tokenisation. Cette adoption a bien évidemment joué un rôle déterminant dans la transition du marché immobilier traditionnel vers sa version digitalisée. L'engagement de ces grandes institutions valide la technologie aux yeux des investisseurs et du marché en général. Par exemple, JPMorgan a montré son intérêt pour la blockchain avec la création de sa plateforme "Onyx", qui est dédiée aux paiements interbancaires. (J.P. Morgan, 2022) Un autre exemple, la banque d'investissement Goldman Sachs a décidé d'envisager d'investir dans des plateformes de tokenisation immobilière. (Shumba, 2023)

Un événement marquant pour l'adoption de cette nouvelle technologie est l'annonce du Canton Network le 9 mai 2023, un nouveau réseau blockchain mondial regroupant des institutions financières importantes comme Goldman Sachs, BNP Paribas, Deloitte, et plus de 30 autres firmes et est conçu spécifiquement pour les institutions intéressées par la tokenisation d'actifs réels. (Wintermeyer, 2023) L'initiative du Canton Network prouve que de plus en plus de

grandes institutions financières se dirigent vers la tokenisation et la Blockchain, ce qui permet de rassurer et d'attirer les nombreux investisseurs potentiels mais réticents. Cette tendance à l'adoption de la technologie Blockchain est également un facteur expliquant la prédominance des Etats-Unis en matière de tokenisation de l'immobilier.

Un dernier point important à prendre en considération pour expliquer la prédominance des Etats-Unis en matière de tokenisation de l'immobilier est que le marché immobilier américain est l'un des plus grands et des plus liquides au monde. (Van Dijk & Francke, 2021) Cette liquidité et cette taille amènent un grand nombre d'opportunités pour les projets de tokenisation, ce qui permet d'attirer les investisseurs qui souhaitent participer aux marchés américains sans pour autant investir de gros montants pour pouvoir acquérir un bien en particulier, mais en étant capable d'investir des plus petits montants pour les tokens qui représentent une fraction de ces propriétés.

4.5 ICO et STO

L'Initial Coin Offering (ICO) et la Security Token Offering (STO) sont deux méthodes de financement qui utilisent la technologie blockchain pour lever des fonds dans divers secteurs, y compris l'immobilier. Elles permettent aux entreprises de collecter des capitaux en émettant des tokens numériques. Cependant, leurs approches, implications légales, et publics cibles diffèrent substantiellement. Voici une explication détaillée de ces deux méthodes, particulièrement dans le contexte de la tokenisation immobilière.

Une ICO est une méthode de levée de fonds où une entreprise crée un nouveau token, coin ou jeton, et le vend au public pour financer le développement de projets. Dans le contexte de l'immobilier, les ICOs peuvent financer le développement de nouvelles technologies ou plateformes immobilières, mais les tokens émis ne représentent généralement pas une part directe dans un bien immobilier. (Pulse, 2023)

Caractéristiques ICO

- **Nature des Tokens:** Les tokens émis lors d'un ICO sont souvent des utility tokens. Ces tokens donnent accès à des services futurs ou des avantages au sein d'une plateforme développée avec les fonds levés.
- **Régulation et Risque :** Les ICOs sont moins réglementées que les STOs, ce qui les rend potentiellement plus risquées pour les investisseurs. Les régulateurs financiers, comme la SEC aux États-Unis, ont souvent mis en garde contre les risques associés aux ICOs, notamment en raison de problèmes de fraude et de manque de transparence.

Par exemple, une startup pourrait lancer un ICO pour développer une plateforme blockchain qui facilite les transactions immobilières en ligne, où les tokens pourraient être utilisés pour payer des services sur cette plateforme.

Une STO est similaire à un ICO dans le sens où elle implique aussi la vente de tokens numériques. Cependant, les tokens émis lors d'une STO sont des security tokens, qui représentent une participation d'investissement dans un actif réel, souvent avec des droits légaux attachés tels que des dividendes, des parts de revenus, ou des droits de vote. (Equisafe, 2021)

Caractéristiques STO

- **Nature des Tokens:** Les security tokens dans l'immobilier représentent souvent une part directe dans un bien immobilier ou un fonds immobilier. Cela peut inclure des parts dans des immeubles commerciaux, résidentiels, ou des projets de développement.
- **Régulation et Sécurité:** Les STOs sont fortement régulées. Les émetteurs doivent se conformer aux lois sur les valeurs mobilières, ce qui inclut l'enregistrement ou la qualification pour une exemption auprès des autorités réglementaires. Cette réglementation vise à protéger les investisseurs en garantissant la transparence et la légitimité de l'offre.

Par exemple, une entreprise immobilière pourrait lancer une STO pour lever des fonds afin d'acheter et de développer un grand complexe résidentiel. Les investisseurs achètent des tokens qui représentent une part de propriété du complexe, avec des droits aux revenus locatifs générés.

En comparaison, les ICOs offrent des utility tokens qui permettent aux entreprises de lever des fonds pour des projets de développement sans conférer de droits de propriété sur des actifs réels. Elles sont plus souples mais aussi potentiellement plus risquées en raison de la faible régulation.

Les STOs, en revanche, offrent une méthode plus sécurisée et réglementée pour investir directement dans l'immobilier via la blockchain. Elles confèrent aux investisseurs des droits réels et tangibles, faisant des STOs un choix privilégié pour les investissements immobiliers sérieux et à long terme. (Pulse, 2023)

Comparatif ICO vs STO		
Critère	ICO (Initial Coin Offering)	STO (Security Token Offering)
Nature des Tokens	Tokens de services ou d'utilité, donnant accès à un produit ou service.	Tokens de sécurité représentant un investissement dans des actifs réels.
Régulation	Généralement moins régulées, avec des risques accrus de fraude.	Fortement réglementées conformément aux lois sur les valeurs mobilières.
Support d'Actifs	Souvent non adossés à des actifs tangibles.	Adossés à des actifs physiques comme l'immobilier ou des équités d'entreprise.
Droits des Investisseurs	Limités, souvent sans influence sur la gestion du projet.	Étendus, incluant des droits comme les dividendes, le partage des profits, et le vote.
Marché Secondaire	Liquidité variable, dépendant de la plateforme d'échange.	Généralement plus liquides et échangés sur des plateformes réglementées.
Protection des Investisseurs	Moindre, risques plus élevés pour les investisseurs.	Meilleure, grâce à la conformité réglementaire et la transparence accrue.
Objectif	Financement rapide pour des startups et nouveaux projets.	Levée de fonds pour des entreprises établies ou projets nécessitant une conformité légale.
Coûts	Moins élevés initialement, mais peuvent inclure des coûts de marketing importants.	Plus élevés en raison des frais légaux et de conformité réglementaire.

4.6 Types de tokenisation immobilière

Pour tokeniser des biens immobiliers, il existe plusieurs types de tokens. Ces tokens sont classés en trois catégories principales, chacune ayant des caractéristiques et des utilisations spécifiques :

Security Tokens

Ces tokens agissent comme des titres financiers traditionnels. Ils peuvent représenter une part de propriété dans un bien immobilier, ou être adossés à une dette sécurisée par un bien immobilier. Les security tokens permettent aux investisseurs d'acquérir des parts fractionnées d'actifs immobiliers, offrant ainsi une manière réglementée et sécurisée de participer au marché immobilier. Par exemple, ils peuvent être utilisés pour représenter les parts dans un REIT (Real

Estate Investment Trust) ou pour convertir l'acquisition d'une propriété unique en 100 000 tokens.

Par exemple, Aspen Coin représente la propriété fractionnée du St. Regis Aspen Resort au Colorado, USA. Ce token est un exemple de security token puisqu'il est adossé à un actif réel et offre des dividendes générés par les revenus de l'hôtel. Ce token a été offert via une offre de tokens de sécurité (STO) et est conforme aux réglementations de la SEC, permettant aux investisseurs d'acquérir légalement des parts de cet établissement de luxe.

Utility Tokens

Ces tokens offrent un accès à un service ou à une utilisation spécifique liée à un bien immobilier. Ils ne sont pas nécessairement des parts de propriété mais peuvent donner droit, par exemple, à l'accès à des espaces de bâtiments, l'utilisation de salles de réunion, ou d'autres services liés à l'immobilier. Ils sont donc moins concentrés sur la valeur financière et plus sur la fonctionnalité.

Par exemple, Primalbase utilise des utility tokens pour permettre l'accès à des espaces de travail partagés. Les détenteurs de tokens peuvent utiliser les espaces de bureau de Primalbase situés dans plusieurs grandes villes du monde sans payer de loyer supplémentaire. Ces tokens offrent un service pratique et directement lié à l'utilisation de biens immobiliers, mais ne confèrent pas de droits de propriété ou de revenus des propriétés.

Hybrid Tokens

Comme leur nom l'indique, ces tokens combinent les caractéristiques des security et utility tokens. Ils peuvent offrir à la fois une valeur financière, comme une part dans un actif immobilier générant des revenus, et des droits d'utilisation, comme l'accès à des installations ou services spécifiques.

Par exemple, Blockchain Hotels offre des tokens qui permettent à la fois d'investir dans le développement de l'hôtel et de bénéficier de services hôteliers. Les investisseurs peuvent recevoir des revenus issus des opérations de l'hôtel et ont également le droit d'utiliser les chambres et autres installations de l'hôtel à des tarifs réduits ou gratuitement, en fonction du nombre de tokens qu'ils détiennent. Ces tokens combinent donc des éléments de security tokens (revenus d'investissement) et d'utility tokens (utilisation des installations).

Les utility tokens sont souvent privilégiés dans les projets blockchain car ils sont soumis à une réglementation moins rigoureuse comparativement aux security tokens. Cette flexibilité réglementaire facilite leur intégration dans divers projets.

Ceci s'explique par le fait que les security tokens sont traités comme des titres financiers et sont donc régis par des lois strictes sur les valeurs mobilières. Les émetteurs de security tokens doivent se conformer à des exigences réglementaires complexes, telles que l'enregistrement auprès des autorités compétentes. (Michels,2024)

4.6.1 Valeur des tokens et méthodes d'investissement

La valeur des tokens immobiliers est étroitement liée à celle du bien immobilier sous-jacent, et elle peut être évaluée selon différentes méthodes :

Valeur Vénale du Bien Immobilier

Cette méthode établit la valeur d'un token basée sur l'évaluation marchande actuelle du bien immobilier. Par exemple, si un bâtiment est valorisé à 1 million d'euros, et que la propriété est divisée en 1 000 tokens, chaque token représenterait alors 0,1 % de la propriété et serait évalué à 1 000 euros. Cette approche ancre directement la valeur du token à celle du bien immobilier. (Le média de l'investisseur, 2024)

Valeur de Marché des Tokens

Contrairement à la méthode précédente, la valeur des tokens peut aussi fluctuer en fonction de l'offre et de la demande sur le marché des cryptomonnaies, indépendamment de la valeur immobilière du bien. Cette dynamique est semblable à celle observée sur les marchés boursiers pour les actions.

Les méthodes d'investissements dans l'immobilier tokenisé peuvent prendre différentes formes :

Achat Direct de Tokens

L'achat direct de tokens immobiliers est la forme la plus directe d'investissement dans la tokenisation immobilière. Les investisseurs achètent des tokens sur des plateformes spécialisées qui agissent comme des marchés primaires pour ces actifs numériques. Chaque token représente une fraction de la propriété d'un bien immobilier spécifique, offrant ainsi aux investisseurs une part proportionnelle des bénéfices générés par le bien, comme les revenus locatifs ou la valorisation du capital. Cette méthode permet une entrée rapide dans l'investissement immobilier sans les complexités liées à l'acquisition de propriétés entières.

Échanges sur des Plateformes Secondaires :

Après l'acquisition initiale, les tokens peuvent être vendus ou échangés sur des plateformes secondaires, qui fonctionnent similairement aux bourses pour les actions. Ces plateformes offrent une liquidité essentielle, permettant aux investisseurs de vendre rapidement leurs parts sans attendre une transaction immobilière traditionnelle, souvent longue et coûteuse. La liquidité est un avantage majeur de la tokenisation, transformant l'investissement immobilier en une option plus flexible et plus réactive aux conditions du marché.

Participation à des Projets de Financement Participatif

Le financement participatif (crowdfunding) est une autre avenue populaire dans la tokenisation immobilière. Des plateformes spécifiques permettent aux investisseurs de participer à des projets de développement immobilier en achetant des tokens qui financent la construction ou la rénovation de propriétés. Cette méthode abaisse considérablement les barrières à l'entrée pour l'investissement immobilier, rendant possible l'acquisition de parts immobilières avec des investissements initiaux beaucoup plus faibles que ceux traditionnellement requis. De plus, elle ouvre l'investissement à un public plus large, incluant des non-professionnels qui peuvent investir de petites sommes.

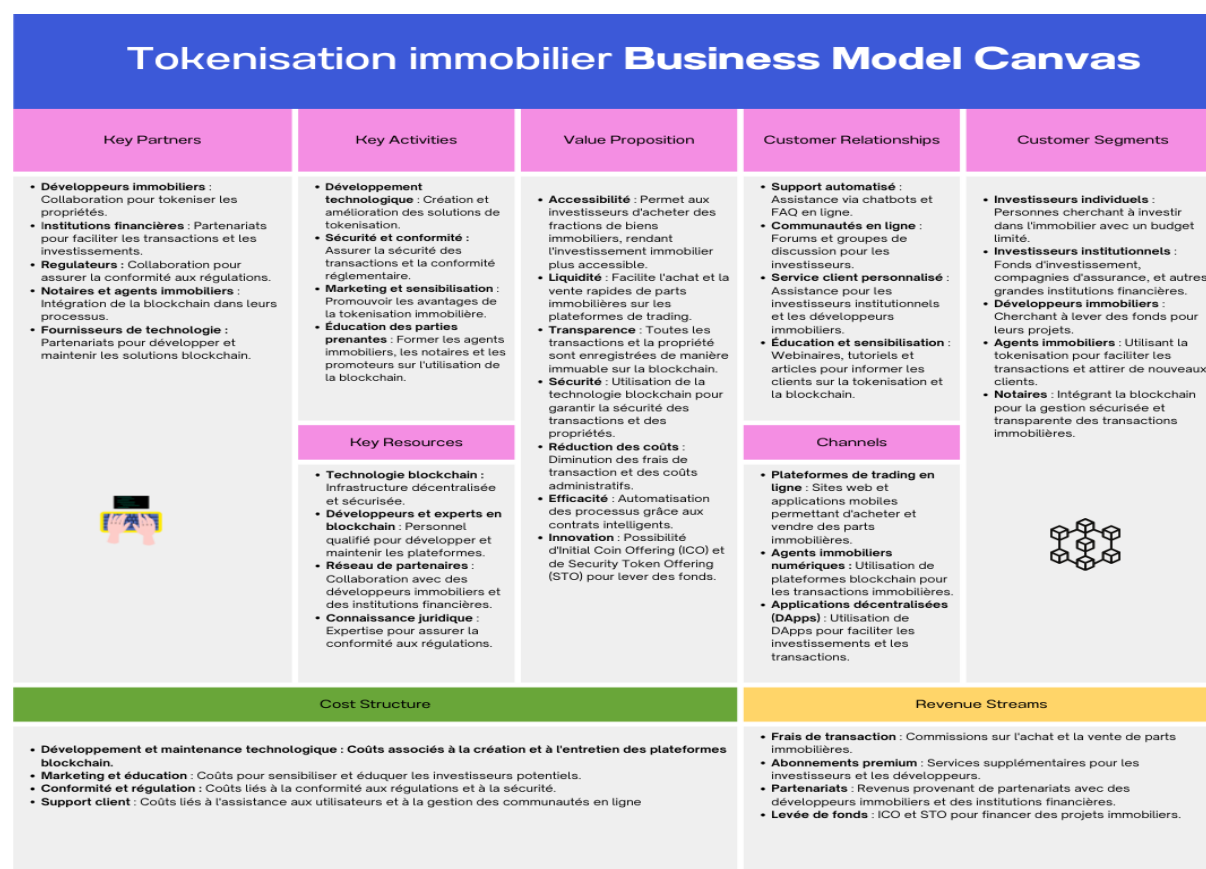
V. Enjeux et conséquences au niveau mondial

5.1 Impacts économiques

5.1.1 Nouveaux modèles économiques

L'introduction de la technologie blockchain a révolutionné plusieurs secteurs économiques, en particulier le secteur immobilier et financier. La tokenisation des actifs immobiliers ainsi que la transformation de la finance par la Blockchain ouvre les portes à de nouveaux modèles économiques. Nous analyserons ceux-ci à travers le Business Model Canvas, modèle idéal afin de représenter en une seule page l'ensemble d'un modèle économique. (*Hub.info*, 2023)

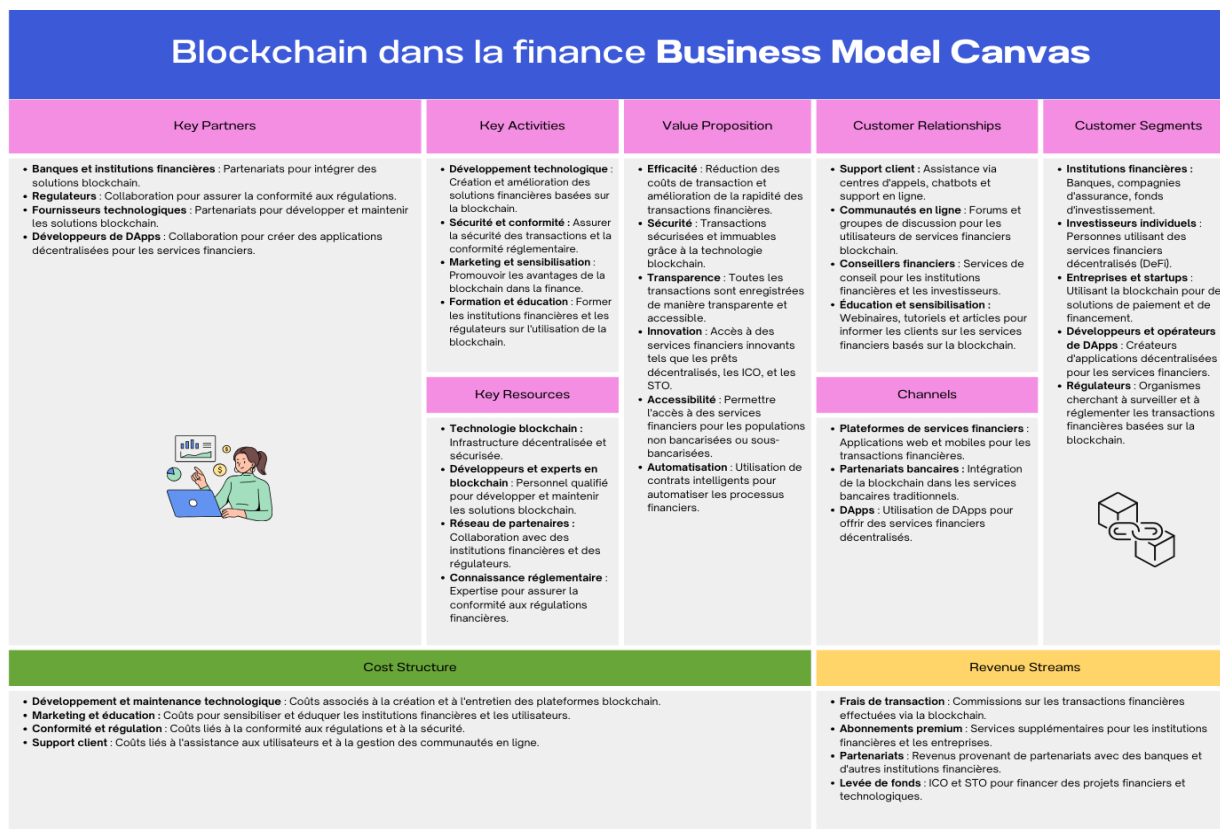
Tokenisation Immobilière vs Immobilier Traditionnel



Le Business Model Canvas de la tokenisation immobilière présente des différences significatives par rapport au modèle traditionnel de l'immobilier. Tout d'abord, la **proposition de valeur** de la tokenisation repose sur l'accessibilité, la liquidité, la transparence et la sécurité accrues. Contrairement à l'immobilier traditionnel, où l'achat de propriétés nécessite des capitaux importants et des processus longs et complexes, la tokenisation permet aux investisseurs d'acheter des fractions de biens immobiliers, rendant l'investissement plus accessible et liquide. Les transactions sont également plus transparentes et sécurisées grâce à la blockchain, tandis que dans l'immobilier traditionnel, les enregistrements peuvent être moins

transparents et plus vulnérables à la fraude. En termes de **ressources clés**, l'immobilier traditionnel dépend fortement des agents immobiliers, des notaires et des banques pour faciliter les transactions et gérer les propriétés. En revanche, la tokenisation repose sur la technologie blockchain, les développeurs et experts en blockchain, et un réseau de partenaires technologiques et financiers. Les **activités clés** dans la tokenisation incluent le développement technologique, la sécurité et la conformité, ainsi que le marketing et la sensibilisation, ce qui est moins prononcé dans l'immobilier traditionnel, où l'accent est davantage mis sur les relations personnelles et les négociations directes. En ce qui concerne les **flux de revenus**, la tokenisation génère des revenus à travers les frais de transaction, les abonnements premium et les partenariats, tandis que l'immobilier traditionnel dépend principalement des commissions de vente et des frais de gestion. Ce Business Model Canvas nous montre que la technologie Blockchain s'insère tout au long du processus de la transaction immobilière en réduisant les délais tout en optimisant les coûts. Cependant, cette technologie est encore très peu mature et certaines applications ne sont pas envisageables car la Blockchain agit pour l'instant comme un moyen qui génère des preuves complémentaires (non authentiques) à ce qui existe déjà.

Blockchain dans la Finance vs Finance Traditionnelle



Le Business Model Canvas de la blockchain dans la finance présente une innovation majeure par rapport à la finance traditionnelle. La **proposition de valeur** de la blockchain dans la finance inclut l'efficacité, la sécurité, la transparence, et l'innovation. Par exemple, alors que les transactions financières traditionnelles peuvent être lentes et coûteuses en raison des multiples intermédiaires (banques, agents de compensation), la blockchain permet des transactions plus rapides et moins coûteuses en éliminant ces intermédiaires et en utilisant des contrats intelligents pour automatiser les processus financiers.

Dans la finance traditionnelle, les **ressources clés** incluent les institutions financières, les régulateurs, et les systèmes de paiement centralisés. En revanche, la blockchain dans la finance repose sur la technologie blockchain, les développeurs de DApps, et les partenariats technologiques. Les **activités clés** dans la blockchain incluent le développement et la maintenance technologique, la sécurité et la conformité, et l'éducation des parties prenantes, tandis que la finance traditionnelle se concentre davantage sur la gestion des risques, la conformité réglementaire stricte, et la gestion des relations clients. Concernant les **flux de revenus**, la blockchain dans la finance génère des revenus à partir des frais de transaction, des abonnements premium, et des ICO/STO, contrairement à la finance traditionnelle qui dépend principalement des intérêts sur les prêts, des frais de gestion, et des commissions de courtage.

Globalement, ces deux nouveaux business modèles permettent de nous montrer les nouveaux canaux d'acquisition, la désintermédiation mais également l'ouverture à de plus nombreux investisseurs.

5.1.2 Redistribution du pouvoir économique

La blockchain, par ses caractéristiques de décentralisation, de transparence et d'immuabilité, introduit des transformations significatives dans les dynamiques de pouvoir économique relevant des secteurs de l'immobilier et de la finance. Ce processus de redistribution du pouvoir se manifeste à travers plusieurs dimensions clés :

Décentralisation et Démocratisation des investissements :

Traditionnellement, le marché immobilier est dominé par de grands acteurs et nécessite des capitaux importants pour y accéder. La tokenisation des actifs immobiliers change cette dynamique en permettant aux petits investisseurs d'acheter des fractions de biens immobiliers. Cette fragmentation des investissements ouvre le marché à un plus large éventail de

participants, réduisant ainsi la concentration du pouvoir économique entre les mains de quelques-uns.

De même, dans le secteur financier, la finance décentralisée (DeFi) offre des services financiers sans les intermédiaires traditionnels comme les banques et les courtiers. Les plateformes DeFi permettent à quiconque d'accéder à des prêts, d'emprunter des fonds, de participer à des échanges de cryptomonnaies et d'autres services financiers avec seulement une connexion internet. Cela réduit la dépendance aux institutions financières centralisées et redistribue le pouvoir économique vers les individus et les communautés locales.

Désintermédiation et Nouveaux Rôles des Acteurs

La blockchain introduit une désintermédiation importante en éliminant le besoin de certains intermédiaires traditionnels. Les transactions immobilières peuvent être effectuées directement entre acheteurs et vendeurs, enregistrées de manière immuable sur la blockchain. Cette désintermédiation remet en question le rôle traditionnel des agents immobiliers et des notaires. A ce stade, l'intégration de cette technologie agit à un niveau intermédiaire au service d'une multitude d'acteurs (Onimus, 2020). Les notaires, par exemple, pourraient voir leur métier se transformer en devenant des vérificateurs et des facilitateurs de transactions sécurisées sur la blockchain plutôt que de simples authenticateurs de documents.

Dans la finance, la désintermédiation se traduit par l'élimination des banques et des courtiers pour certaines transactions financières. Les smart contracts automatisent les processus financiers, permettant des transactions peer-to-peer sans intermédiaires. Cette évolution pourrait transformer les métiers de banquiers et courtiers, qui devront s'adapter à de nouveaux rôles orientés vers la gestion et la vérification des transactions blockchain plutôt que la médiation. Ne dit-on pas que 85% des métiers de 2030 n'existent pas encore ? (Dell Technologies, 2017).

Transparence et réduction de l'asymétrie d'informations

La blockchain introduit une transparence accrue dans les transactions immobilières. Toutes les informations sur les transactions sont enregistrées de manière immuable et accessibles publiquement sur la blockchain, ce qui réduit les possibilités de fraude et de corruption. Cette transparence donne aux petits investisseurs la confiance nécessaire pour participer au marché immobilier, sachant que toutes les transactions sont vérifiables et traçables.

Dans la finance, la transparence de la blockchain permet une vérification facile des transactions et des contrats intelligents automatisés, réduisant les risques d'erreurs et de manipulations. Les ICO (Initial Coin Offerings) et STO (Security Token Offerings) utilisent cette transparence pour attirer des investisseurs en garantissant que les fonds collectés sont utilisés conformément aux termes du contrat. Les plateformes financières basées sur la blockchain offrent une vue transparente des flux de capitaux, réduisant ainsi l'asymétrie d'informations entre les grandes institutions et les investisseurs individuels.

Autonomisation des acteurs locaux et émergents

La tokenisation immobilière permet aux développeurs locaux et aux petites entreprises de lever des fonds directement auprès d'un large éventail d'investisseurs, sans passer par les canaux traditionnels de financement comme les banques. Cela donne plus de pouvoir aux acteurs locaux pour développer des projets immobiliers qui répondent aux besoins spécifiques de leurs communautés, stimulant ainsi le développement économique local.

Les entreprises émergentes et les startups peuvent également bénéficier de la finance décentralisée en levant des fonds par le biais des ICO et STO, contournant ainsi les processus rigides des institutions financières traditionnelles. Cette capacité à accéder à des financements, directement depuis les investisseurs, redistribue le pouvoir économique vers des entrepreneurs innovants et diversifiés, augmentant ainsi la diversité et la résilience de l'économie.

Sécurité et confiance renforcées

La blockchain assure la sécurité des transactions immobilières en utilisant des algorithmes cryptographiques avancés. Cela renforce la confiance des investisseurs en garantissant que leurs actifs sont protégés contre les fraudes et les cyberattaques. Les notaires et agents immobiliers jouent un rôle crucial en vérifiant et en certifiant les transactions sur la blockchain, augmentant ainsi la sécurité globale du marché immobilier.

Dans la finance, la sécurité renforcée des transactions blockchain réduit les risques de fraude et de vol d'identité. Les contrats intelligents automatisent les transactions selon des conditions prédéfinies, éliminant les erreurs humaines et augmentant la fiabilité des transactions financières. Cela augmente la confiance des utilisateurs dans les systèmes financiers décentralisés et encourage une adoption plus large de ces technologies.

Nouveaux modèles de gouvernance et de participation

La gouvernance des projets immobiliers tokenisés peut être démocratisée grâce à la blockchain. Les investisseurs peuvent participer aux décisions importantes concernant la gestion des propriétés via des votes tokenisés, ce qui donne plus de voix aux petits investisseurs dans les décisions de gestion.

De même, dans la finance, les modèles de gouvernance décentralisée permettent aux utilisateurs de participer à la prise de décision sur les plateformes DeFi. Les détenteurs de tokens peuvent voter sur des propositions pour améliorer les protocoles et les services financiers, redistribuant ainsi le pouvoir décisionnel des gestionnaires traditionnels vers les utilisateurs eux-mêmes.

5.2 Questions éthiques et sociales

L'utilisation de la blockchain dans les secteurs financier et immobilier a pour but de révolutionner ces marchés en offrant entre autres une amélioration de la transparence, une augmentation de l'efficacité des transactions, et une plus grande accessibilité. Cependant, des changements aussi conséquents sont souvent accompagnés de défis que ce soit au niveau éthique ou social. Ces modifications nécessitent alors une analyse plus approfondie. Cette section explore quatre des principaux enjeux éthiques et sociaux : l'inclusion financière, les questions de confidentialité, la responsabilité et la gouvernance et pour terminer l'impact sur le développement durable.

5.2.1 Inclusion financière

L'inclusion financière est l'un des avantages les plus prometteurs de la Blockchain, surtout dans les secteurs financier et immobilier. Cette technologie a le potentiel de transformer l'accès aux services financiers en rendant les transactions plus rapides, moins coûteuses, et accessibles à une population plus large qui est actuellement non-bancarisée ou sous-bancarisée.

Concernant le secteur financier, l'un des avantages les plus significatifs de la Blockchain dans ce secteur est la réduction des coûts de transaction. (Golosova & Romanovs, 2018) En effet, les systèmes financiers traditionnels dépendent d'intermédiaires tels que les banques, et d'autres acteurs spécifiques ayant pour rôle de faciliter les transactions. Chaque intermédiaire dans la chaîne transactionnelle ajoute une couche de complexité, un délai de traitement et surtout des frais supplémentaires qui seront à la fin de la chaîne, supportés par les consommateurs. Dans la technologie Blockchain, pour rappel, les transactions sont validées par un réseau de nœuds, plutôt que par une autorité centrale unique comme une banque. Chaque nœud possède une copie complète du registre, permettant à la Blockchain de fonctionner de manière décentralisée et

transparente. Cette structure élimine le besoin de banques ou d'autres entités pour valider, vérifier et enregistrer les transactions. De plus, cette technologie permet l'utilisation de contrats intelligents, ceux-ci sont des programmes stockés sur la Blockchain qui s'exécutent automatiquement lorsque des conditions préalablement définies sont remplies. Ils peuvent donc automatiser des processus complexes et coûteux comme les paiements ou encore les accords de prêts et tout cela sans intervention humaine. Cela minimise le besoin d'avocats, de notaires, et d'autres intermédiaires qui, lors des transactions traditionnelles, peuvent ajouter des frais supplémentaires. Ensuite, la Blockchain peut également favoriser les transactions internationales en éliminant davantage d'intermédiaires. Par exemple, lorsque des individus souhaitent effectuer des transferts d'argent d'un pays à un autre, les banques et les services de transfert d'argent comme Western Union perçoivent souvent des frais élevés pour ce type de transactions. En utilisant la Blockchain, ces frais peuvent être considérablement réduits car la transaction n'a plus besoin de passer par plusieurs banques ou systèmes de compensation. (Soufaih, 2020)

En plus de réduire voire d'éliminer les coûts et les délais associés aux transactions dûs aux nombreux intermédiaires, la nature décentralisée de la technologie Blockchain permet également d'améliorer l'accessibilité aux systèmes financiers. En effet, dans le système traditionnel, les banques ont pour rôle de contrôler l'accès aux services financiers et imposent souvent des frais élevés pour les transactions et les services. Un rôle important joué par les institutions financières traditionnelles est la fixation de critères d'éligibilité pour avoir accès aux crédits, aux prêts ou encore pour bénéficier d'un compte courant. Ces critères étant, dans la plupart des cas, considérés comme assez stricts. Parmi ceux-ci, on retrouve des critères basés sur : l'historique de crédit, les revenus, la situation de l'emploi et encore bien d'autres facteurs qui peuvent exclure les individus issus des populations à faible revenu, ou ne bénéficiant pas d'un emploi stable ou encore des individus qui ne possèdent pas d'historique de crédit traditionnel. De plus, dans certains pays en voie de développement, les femmes sont souvent exclues du système financier traditionnel, car à ces critères stricts s'ajoutent des problèmes liés à leur sous-considération. (Roy & Patro, 2022) Grâce à l'utilisation de la Blockchain, ces barrières sont largement diminuées. Les transactions financières peuvent être effectuées directement entre les parties sans nécessiter d'intermédiation par des banques, ce qui réduit les coûts de transaction et rend les services financiers plus accessibles à une base d'utilisateurs plus large. (Mavilia & Pisani, 2020)

Dans le secteur immobilier, la Blockchain est utilisée pour effectuer la tokenisation immobilière. Cette révolution dans le marché immobilier permet d'améliorer de manière importante l'inclusion financière, en offrant un accès plus large et démocratique aux

investissements immobiliers. En général, l'accès au marché immobilier nécessite des investissements de taille, rendant celui-ci inaccessible pour les petits épargnants et même pour les individus de classe moyenne. Ces investissements nécessitant des montants conséquents étaient donc réservés à une minorité assez aisée, ce qui crée un écart considérable entre les différentes classes économiques. La tokenisation permet de modifier radicalement cet écart en fractionnant les biens immobiliers en unités plus petites et plus abordables, autorisant alors les personnes avec un capital plus réduit à participer au marché immobilier et leur permettant ainsi de devenir propriétaires même de la plus petite fraction du bien. Ce concept de fragmentation réduit de manière conséquente les barrières financières auxquelles la plupart de la population a l'habitude de faire face. Ce procédé de division de la propriété immobilière en tokens permet à un plus grand nombre d'individus de participer à des investissements qui étaient auparavant hors de portée, en offrant la possibilité d'acheter des fractions d'une propriété à un coût nettement inférieur. Cette nouvelle forme d'investissement démocratise l'accès au marché immobilier et ouvre la porte à une diversification significative des portefeuilles d'investissement, offrant une opportunité de répartition des risques et de potentiel de croissance auparavant limitée aux investisseurs institutionnels ou très fortunés. (Thetlek & al., 2023)

De plus, cette démocratisation des investissements immobiliers peut avoir des effets bénéfiques sur les économies locales. En rendant les investissements immobiliers plus accessibles, la tokenisation peut encourager un plus grand nombre de personnes à investir dans des projets locaux, ce qui stimule non seulement le développement immobilier mais aussi l'emploi local. Les projets immobiliers financés par des investisseurs locaux peuvent répondre de manière plus adéquate aux besoins et aux aspirations des communautés, en promouvant des développements qui respectent l'environnement local et en soutenant les économies des petites villes ou des quartiers moins développés.

Ensuite, la tokenisation peut faciliter l'investissement transfrontalier, permettant ainsi aux marchés émergents d'attirer des capitaux étrangers, ce qui peut entraîner une augmentation significative des fonds disponibles pour le développement immobilier. Cela peut contribuer à une forme de globalisation des investissements immobiliers, où les marchés autrefois considérés comme trop risqués ou inaccessibles peuvent désormais bénéficier de financements internationaux.

Dans l'ensemble, la tokenisation de l'immobilier ne se limite pas à modifier les mécanismes d'investissement, elle a le potentiel de transformer les dynamiques économiques locales et globales, en rendant les marchés immobiliers plus inclusifs et plus équitables. Cette évolution pourrait jouer un rôle clé dans la réduction des disparités économiques, permettre d'améliorer donc cette inclusion financière ce qui aura des conséquences positives sur la stimulation de la croissance économique des pays en général. (Schwarcz & Bourret, 2023).

Cependant, un point important à prendre en considération pour améliorer l'inclusion financière grâce à la technologie Blockchain, est le fait que pour bénéficier de tous les avantages que cette technologie innovante peut apporter, il est nécessaire d'avoir un niveau de connaissances suffisant. En effet, les barrières éducatives représentent un obstacle majeur, car comprendre les mécanismes de la Blockchain et les risques associés n'est pas à la portée de tous. Le besoin d'éducation financière est donc crucial pour que les nouveaux investisseurs puissent acquérir les connaissances nécessaires et par la suite avoir la capacité d'effectuer des transactions raisonnables et de manière réfléchie. De plus, un autre point empêchant la Blockchain d'avoir un impact positif total sur l'inclusion financière est le manque d'accessibilité à internet pour certains. Il est clair que la participation aux marchés financiers et immobiliers utilisant la Blockchain nécessite un accès à des technologies numériques et à internet, ces deux outils étant dans certains cas simultanément indisponibles, particulièrement dans les régions moins développées ou parmi les populations défavorisées. Ces besoins d'éducation financière et d'accès à la technologie sont deux points importants qui sont à prendre en considération lorsqu'on évoque tous les avantages de la tokenisation et sont des sujets sur lesquels il serait pertinent de se pencher afin de mettre en place des idées pour les améliorer.

5.2.2 Questions de confidentialité

La technologie blockchain, intégrée de manière croissante dans les secteurs financier et immobilier, promet d'améliorer la transparence et l'efficacité des transactions. Cependant, cette intégration peut également soulever des questions pertinentes sur la confidentialité et la sécurité des données personnelles. Bien que la Blockchain soit réputée pour présenter des avantages en termes de sécurisation des transactions par sa nature décentralisée et son caractère immuable, elle n'est pas totalement protégée contre les risques de violation des données, qui peuvent gravement compromettre la vie privée des individus.

Il est vrai que la Blockchain est considérée comme extrêmement sécurisée pour plusieurs raisons. Tout d'abord, elle repose sur une structure de données décentralisée, ce qui signifie que les informations ne sont pas stockées sur un seul serveur, mais sont réparties sur un réseau d'ordinateurs. Cette décentralisation rend la technologie Blockchain résistante aux pannes de systèmes centralisés et aux attaques informatiques traditionnelles qui sont facilitées car elles n'ont besoin de se concentrer uniquement sur un seul lieu de stockage de données. De plus, chaque transaction sur la Blockchain est cryptographiquement sécurisée et doit être approuvée par des mineurs avant d'être enregistrée. Cette immutabilité permet d'empêcher la falsification des enregistrements une fois qu'ils ont été ajoutés à la blockchain. Cependant, la Blockchain peut également faire face à des problèmes de sécurité, bien que ceux-ci soient beaucoup moins fréquents par rapport aux systèmes traditionnels. Par exemple, en 2016, la Blockchain Ethereum a subi une attaque importante, connue sous le nom de "DAO Hack", où environ 50 millions de dollars en Ether ont été détournés en exploitant des vulnérabilités dans le code d'un contrat

intelligent. (Dhillon & Al., 2017). Force est de constater que, bien que la technologie elle-même soit sécurisée, les applications construites sur elle peuvent présenter des faiblesses.

La question de la protection des données sur la blockchain est complexe. Bien que les données soient cryptées, elles restent souvent accessibles publiquement ou semi-publiquement, ce qui pose des défis uniques pour la confidentialité des données personnelles. La nature permanente des données sur la blockchain signifie également que les informations, une fois enregistrées, sont difficiles, voire impossibles à modifier ou supprimer. Ce trait rend difficile la conformité avec des réglementations telles que le RGPD, notamment en ce qui concerne le droit à l'effacement. Ce droit, aussi connu sous le nom de droit à l'oubli, permet aux individus de demander la suppression de leurs données personnelles par une entité lorsque ces données ne sont plus nécessaires et que le consentement a été retiré. Ce droit a pour but de donner plus de contrôle aux personnes en ce qui concerne leurs informations personnelles. (Bamdé, 2021)

En effet, l'un des grands dilemmes de la technologie Blockchain est de trouver un équilibre entre la transparence nécessaire pour la confiance et l'intégrité des transactions et la confidentialité nécessaire pour protéger les informations personnelles des utilisateurs. Pour améliorer cette balance entre les deux, des technologies comme les preuves à divulgation nulle de connaissance, davantage connues sous leur traduction anglais « zero-knowledge proofs », permettent de partager des informations de validation des transactions sans divulguer davantage de détails. Ces technologies innovantes offrent alors un moyen de maintenir la transparence tout en protégeant la confidentialité des données. (Čapko & Al., 2022) De plus, la technologie Blockchain continue d'effectuer de nombreuses recherches pour proposer davantage de solutions en vue de relever ces défis liés aux problèmes de transparence et de confidentialité. Par exemple, une des propositions innovantes est le "sharding", qui divise une blockchain en segments plus petits, permettant ainsi de limiter l'accès aux données et ensuite d'augmenter la confidentialité sans compromettre les performances. Une autre solution est la transformation des contrats intelligents en contrats intelligents confidentiels, ceux-ci permettent l'exécution de contrats automatiques tout en gardant certaines conditions et données confidentielles. Ces développements futurs sont essentiels pour adapter la technologie blockchain aux exigences mises en place de protection des données et de confidentialité.

5.2.3 Responsabilité et gouvernance

La responsabilité et la gouvernance dans le contexte de la technologie Blockchain sont primordiales pour assurer le fonctionnement sécurisé et légal des plateformes dans les secteurs financier et immobilier. Il est clair qu'au plus ces technologies se développent, au plus les défis en matière de régulation et d'éthique nécessitent d'être analysés de manière approfondie pour chaque secteur.

Pour commencer, en ce qui concerne le secteur financier, les autorités de régulation doivent s'assurer que les transactions sur la blockchain respectent les normes d'anti-blanchiment d'argent (Anti Money Laundering) et celles touchant le financement du terrorisme (Combating the Financing of Terrorism). Afin de respecter ces normes, il y a eu la mise en place de réglementations qui obligent les plateformes à effectuer des vérifications diligentes de leurs clients (Know Your Customer) et à surveiller les transactions anormales. Par exemple, la directive européenne sur les services de paiement (DSP2), également connue sous le nom de Payment Services Directive 2, est une réglementation essentielle de l'Union européenne qui a été mise en place pour moderniser le cadre réglementaire des paiements au sein de l'Europe. Celle-ci a été adoptée en 2015 et est seulement effective depuis janvier 2018 ; la directive vise principalement à augmenter la sécurité des transactions financières et à améliorer la transparence des paiements pour les utilisateurs. Ces objectifs sont soutenus par des mesures telles que l'obligation pour les banques de fournir un accès sécurisé à leurs données via des interfaces de programmation d'applications, et l'introduction de l'authentification des clients pour renforcer la sécurité des paiements en ligne. (European Central Bank, 2018)

Dans le secteur immobilier, la régulation se concentre sur la transparence des transactions et la légalité de la propriété transférée via la blockchain. Cela inclut des vérifications détaillées de la provenance des actifs et des obligations pour les plateformes de déclarer toute activité suspecte. Des lois spécifiques, comme celles encadrant les Real Estate Investment Trusts dans diverses juridictions, doivent également être considérées pour intégrer la tokenisation des propriétés immobilières. Les entreprises doivent développer des codes de conduite internes qui surpassent souvent les exigences légales. Cela inclut la mise en place de systèmes de sécurité informatique de pointe pour protéger les données sensibles et la mise en œuvre de protocoles de gouvernance internes afin de garantir l'intégrité des opérations. Par exemple, une plateforme de tokenisation peut utiliser des audits réguliers effectués par des tiers pour assurer l'adhésion aux normes éthiques et techniques.

De plus, le cadre de gouvernance pour la blockchain doit encourager la coopération internationale, surtout en ce qui concerne les réglementations financières et immobilières qui affectent les marchés globaux. Des entités comme le Groupe d'action financière (GAFI) jouent un rôle crucial en formulant des recommandations internationales qui peuvent permettre d'aider à harmoniser les pratiques à travers les frontières. (Clément & Lelieur, 2021) Il est important que les régulateurs restent flexibles et réactifs face aux innovations technologiques rapides. Les changements réglementaires doivent être suffisamment dynamiques pour permettre l'innovation tout en protégeant les utilisateurs et le marché. Un exemple récent de cette dynamique est l'approche évolutive de la SEC envers les offres initiales de pièces de monnaie (ICO) et les offres de jetons de sécurité (STO). Ces deux approches ont été expliquées dans la section précédente dédiée à la tokenisation de l'immobilier.

5.2.4 Impact sur le développement durable

La tokenisation immobilière a également des implications significatives pour le développement durable. Par son potentiel de financement innovant, elle peut encourager des projets de développement qui intègrent des technologies écologiques et des pratiques de construction durable. Cela pourrait accélérer l'adoption de standards de construction écologiques, réduisant ainsi l'empreinte environnementale de nouveaux développements. De plus, en facilitant l'accès à des capitaux pour des projets verts, la tokenisation peut jouer un rôle clé dans la transition vers une économie plus durable.

Néanmoins, il est crucial de surveiller le risque de sur-développement qui pourrait résulter d'un accès accru aux fonds. Le développement excessif peut entraîner des conséquences négatives sur les écosystèmes locaux et contribuer à une urbanisation non durable. Pour contrer cela, il est nécessaire d'intégrer des considérations de durabilité dans les critères de financement et de planification des projets tokenisés. En outre, assurer l'équité sociale dans les bénéfices tirés de tels développements est également un enjeu majeur, nécessitant des politiques qui garantissent que les projets soutiennent les objectifs sociaux et environnementaux globaux.

5.3 Recommandations générales

L'une des principales recommandations pour favoriser l'adoption de la blockchain dans les secteurs financier et immobilier, est l'élaboration de réglementations spécifiques et claires. En effet, les cadres réglementaires doivent clarifier la définition juridique des actifs numériques et établir des règles de conformité et de surveillance pour les entreprises, incluant des obligations de rapport et de vérification par des tiers. Afin de protéger les consommateurs, des exigences KYC (Know Your Customer) et AML (Anti-Money Laundering), ainsi que l'obligation de transparence des transactions, sont essentielles pour empêcher les activités illicites et informer les investisseurs. En ce qui concerne les ICOs (Initial Coin Offerings) et les STOs (Security Token Offerings), l'enregistrement et l'autorisation préalables, accompagnés d'obligations de divulgation d'informations financières, permettent de protéger les investisseurs. De plus, la reconnaissance juridique des contrats intelligents et la définition de mécanismes de recours en cas de litige renforcent la sécurité juridique. Les réglementations protègent les investisseurs en réduisant les fraudes, en assurant la transparence, en offrant une sécurité juridique accrue et enfin en renforçant la confiance dans le marché. Des pays comme Malte, avec sa loi sur les actifs numériques (Week, 2022) ou bien comme la Suisse, avec le Crypto Valley et les directives de la FINMA (Allen, 2024) illustrent comment une réglementation avancée peut attirer les entreprises blockchain et fintech tout en protégeant les investisseurs. En développant

des cadres clairs et en renforçant la protection des consommateurs, les gouvernements peuvent créer un environnement propice à la croissance des technologies de blockchain.

La blockchain est une technologie encore relativement nouvelle, et son adoption à grande échelle nécessite une meilleure compréhension de ses avantages et ses risques. Une autre recommandation importante est donc la promotion de l'éducation et de la formation sur les technologies blockchain au sein des institutions financières et immobilières. Des initiatives éducatives peuvent inclure des séminaires, des cours universitaires et des programmes de certification professionnelle. Par exemple, l'Université de Nicosie à Chypre propose un master en monnaie numérique, ce qui aide à former une nouvelle génération de professionnels compétents dans ce domaine. (University of Nicosia, 2024) De plus, afin de profiter pleinement des avantages que peut offrir la blockchain dans le domaine financier ou immobilier, il est également nécessaire de sensibiliser le grand public à l'utilisation de celle-ci pour augmenter l'acceptation et la confiance dans cette technologie innovante.

Une recommandation déterminante pour favoriser l'adoption et l'utilisation de la blockchain est l'amélioration de la coopération entre le secteur public et privé concernant cette nouvelle technologie. Les partenariats public-privé peuvent faciliter le partage des coûts et des risques associés au développement de nouvelles technologies. Par exemple, le projet de blockchain gouvernemental d'Estonie, qui vise à sécuriser les données de santé des citoyens, a bénéficié de la collaboration avec des entreprises technologiques privées. (Perreau, 2017) Ce projet illustre comment les partenariats peuvent non seulement améliorer la sécurité des données, mais aussi augmenter l'efficacité et la transparence des services publics.

La standardisation des technologies blockchain est une autre recommandation importante pour faciliter leur adoption généralisée. Les nombreux et différents protocoles et plateformes blockchain posent des défis significatifs pour l'interopérabilité, rendant difficiles la communication et l'intégration entre des systèmes distincts. Promouvoir la standardisation des protocoles blockchain peut assurer que différentes plateformes et applications puissent fonctionner ensemble de manière harmonieuse. Par exemple, l'initiative du W3C (World Wide Web Consortium) sur les standards des technologies blockchain vise à développer des normes ouvertes pour cette technologie, permettant ainsi une meilleure compatibilité entre les systèmes.

5.3.1 Recommandations spécifiques au secteur financier

La sécurité est une préoccupation majeure pour les transactions financières, et la blockchain n'échappe pas à cette règle. Investir dans des solutions de sécurité pour protéger les transactions et les données stockées sur la blockchain est d'une importance capitale. Des technologies telles que les algorithmes de cryptographie avancée peuvent aider à renforcer la sécurité des systèmes blockchain. Par exemple, les banques suisses utilisent des solutions blockchain sécurisées pour leurs transactions interbancaires, garantissant ainsi un haut niveau de sécurité et de confidentialité. En parallèle, il est crucial de mettre en place des mécanismes robustes de conformité et de KYC (Know Your Customer) pour les transactions blockchain afin de prévenir le blanchiment d'argent et les activités frauduleuses.

La blockchain ouvre la voie à de nombreuses innovations financières, telles que les cryptomonnaies stables et les actifs tokenisés. Encourager le développement de nouveaux produits financiers basés sur la blockchain peut transformer le paysage financier. Les cryptomonnaies stables, par exemple, offrent une alternative aux devises traditionnelles avec une volatilité réduite, facilitant ainsi les transactions internationales. Un autre exemple est l'utilisation de tokens pour représenter des actions ou des obligations, ce qui peut améliorer la liquidité et l'accès au marché pour les petits investisseurs. Faciliter l'accès aux financements pour les startups blockchain via des fonds dédiés ou des programmes de soutien peut également stimuler l'innovation et la croissance économique.

Le développement d'infrastructures de marché adaptées à la blockchain est déterminant pour son adoption dans le secteur financier. Cela inclut des plateformes de trading et des systèmes de règlement-livraison en temps réel. Par exemple, la plateforme blockchain de la Bourse de Shanghai permet des transactions sécurisées et transparentes, réduisant ainsi les délais et les coûts associés au règlement des transactions. (Shittu, 2024)

5.3.2 Recommandations spécifiques au secteur immobilier

La gestion des titres de propriété est l'un des domaines où la blockchain peut avoir un impact significatif. Utiliser la blockchain pour la gestion des titres de propriété et des transactions immobilières peut réduire les fraudes et augmenter la transparence. Par exemple, la Suède exploite la blockchain pour numériser et sécuriser les registres fonciers, ce qui a permis de réduire les coûts administratifs et d'accélérer les processus de transaction. (Abrams, 2023) La mise en place de registres fonciers basés sur la blockchain peut également assurer la traçabilité

et la sécurité des données foncières, offrant ainsi une solution fiable pour les transactions immobilières.

La blockchain offre de nombreuses opportunités pour transformer les secteurs financier et immobilier. Cependant, pour tirer pleinement parti de cette technologie, il est essentiel de mettre en place des cadres réglementaires adaptés, de promouvoir l'éducation et la sensibilisation, de renforcer la coopération entre le secteur public et privé, et de standardiser les technologies utilisées. En adoptant ces recommandations, les secteurs financier et immobilier peuvent non seulement améliorer leur efficacité et leur sécurité, mais aussi ouvrir la voie à de nouvelles innovations et opportunités de croissance.

VI. Conclusion

Ce mémoire a minutieusement examiné l'impact révolutionnaire de la blockchain sur les secteurs financiers et immobiliers, en s'appuyant sur une analyse approfondie de la littérature, des études de cas, des entretiens avec des experts, et des observations faites lors de conférences spécialisées. La blockchain, grâce à ses caractéristiques d'immuabilité, de décentralisation et de transparence, promet de transformer fondamentalement ces secteurs.

Dans le secteur financier, la blockchain a déjà montré ses capacités à améliorer la transparence, réduire les coûts et accroître la sécurité des transactions. Des initiatives comme KBC Coin (également connu sous le nom de Kate Coin) ont illustré comment les banques peuvent utiliser cette technologie pour faciliter les transactions internes. KBC Coin permet des transactions plus efficaces et transparentes au sein du groupe KBC, renforçant ainsi la confiance des utilisateurs et l'efficacité opérationnelle.

La plateforme we.trade, utilisée par plusieurs grandes banques européennes, est un autre exemple notable. Cette plateforme de commerce international standardise et sécurise les transactions commerciales, réduisant les risques de fraude et augmentant la confiance entre les parties. En offrant une traçabilité complète et une vérification des transactions en temps réel, we.trade démontre parfaitement les bénéfices de la blockchain en matière de transparence et de sécurité. Le projet Buck-e de Belfius représente une autre application innovante de la blockchain. Cette initiative encourage les comportements durables chez les jeunes en utilisant une cryptomonnaie dédiée pour récompenser les activités écoresponsables, telles que le vélo ou la marche pour se rendre à l'école. Ce projet montre comment la blockchain peut être utilisée pour des initiatives sociales et éducatives, au-delà des applications financières traditionnelles.

La blockchain a également le potentiel de transformer les modèles d'affaires existants dans le secteur financier. Les initiatives de KBC via sa plateforme Bolero, par exemple, montrent comment la tokenisation peut automatiser les processus d'émission d'actions et de gestion des dividendes, réduisant ainsi les coûts opérationnels et améliorant la transparence des transactions. Cette approche permet aux institutions financières d'attirer de petits investisseurs en rendant les investissements plus accessibles.

L'impact de la blockchain ne se limite pas au secteur financier. Dans le secteur immobilier, la tokenisation des actifs est en train de révolutionner la manière dont les biens immobiliers sont achetés, vendus et gérés. L'interview avec Jean-Paul Scheuren, président de la Chambre Immobilière du Luxembourg, a révélé l'impact potentiel de la tokenisation. Scheuren a souligné

que la tokenisation permet de fractionner la propriété d'actifs immobiliers, rendant l'investissement plus accessible à un public plus large. Le projet "AnnA" en France, où un bâtiment prestigieux a été tokenisé, en est un exemple éloquent. Ce projet a permis à de nombreux petits investisseurs d'acquérir des parts de l'immeuble, démocratisant ainsi l'accès à des investissements auparavant réservés à une élite financière.

D'autres initiatives dans le domaine de la tokenisation immobilière incluent les projets BlochHome et LetzToken, qui utilisent la blockchain pour gérer les transactions immobilières de manière plus efficace, en éliminant les intermédiaires et en réduisant les délais de traitement. Ces projets illustrent comment la blockchain peut offrir une liquidité accrue et une gestion plus transparente des actifs, tout en stimulant le développement économique local.

L'autonomisation des acteurs locaux grâce à la tokenisation est un aspect particulièrement important mis en lumière dans ce mémoire. En permettant aux développeurs locaux et aux petites entreprises de lever des fonds directement auprès d'un large éventail d'investisseurs, la tokenisation offre une nouvelle voie pour le développement économique local. Les exemples de projets comme BlochHome et LetzToken montrent comment cette technologie peut être utilisée pour financer des projets immobiliers répondant aux besoins spécifiques des communautés locales, stimulant ainsi le développement économique de manière plus équitable et inclusive.

Cependant, l'adoption de la blockchain et de la tokenisation n'est pas sans défis. Les problèmes de scalabilité et de performance restent des obstacles majeurs. Actuellement, les blockchains publiques comme Bitcoin et Ethereum peuvent traiter un nombre limité de transactions par seconde, ce qui pose des problèmes pour une adoption à grande échelle. Des solutions comme le Lightning Network pour Bitcoin ou le passage à la preuve d'enjeu (Proof of Stake) pour Ethereum sont des développements prometteurs visant à résoudre ces problèmes de scalabilité. Le Lightning Network permet de traiter les transactions en dehors de la blockchain principale, réduisant ainsi la charge sur celle-ci, tandis que la preuve d'enjeu promet une consommation d'énergie moindre et une vitesse de traitement accrue.

Les implications légales et éthiques de l'utilisation de la blockchain sont également cruciales. La conformité avec des réglementations comme le RGPD (Règlement Général sur la Protection des Données) est essentielle pour protéger les données personnelles des utilisateurs. La nature immuable de la blockchain, bien qu'avantageuse pour la sécurité des transactions, pose des problèmes lorsqu'il s'agit de supprimer ou de modifier des données pour se conformer aux lois

sur la protection de la vie privée. Cette problématique a été largement discutée lors de la conférence sur la tokenisation immobilière, où des experts ont débattu des meilleures pratiques pour concilier les avantages de la blockchain avec les exigences légales et éthiques.

En somme, ce mémoire a démontré que la blockchain est bien plus qu'une simple innovation technologique. Elle représente une transformation profonde des secteurs financier et immobilier, offrant des avantages considérables en termes de transparence, de sécurité et d'efficacité. Cependant, pour réaliser pleinement son potentiel, il est crucial de surmonter les défis techniques, réglementaires et éthiques. Les recommandations formulées dans ce mémoire suggèrent une approche équilibrée, combinant innovation technologique et adaptation réglementaire, pour maximiser les bénéfices de la blockchain tout en minimisant les risques. La poursuite de la recherche et du développement, accompagnée d'une réflexion éthique et légale, sera essentielle pour naviguer avec succès dans ce paysage en évolution rapide. Ce travail de mémoire pose ainsi les bases d'une compréhension approfondie des dynamiques en jeu et offre des perspectives pour les futurs chercheurs et praticiens dans le domaine de la blockchain.

VII. Bibliographie

Abrams, E. (2023, 17 novembre). How European countries are using blockchain to reform the land registration process. Emerging Europe. <https://emerging-europe.com/voices/how-european-countries-are-using-blockchain-to-reform-the-land-registration-process/>

Adams, H. (2020). Uniswap: A decentralized protocol for automated liquidity provision on Ethereum. Uniswap Whitepaper.

Afp, L. M. A. (2021, 21 juillet). Entrée en Bourse record pour Coinbase, la plate-forme d'échange de cryptomonnaies. Le Monde.fr. https://www.lemonde.fr/economie/article/2021/04/15/coinbase-la-plate-forme-d-echange-de-cryptomonnaies-flambe-pour-son-entree-a-wall-street_6076825_3234.html

Allen, M. (2024, 24 janvier). La Suisse veut faire rentrer les cryptomonnaies dans le rang. SWI swissinfo.ch. <https://www.swissinfo.ch/fre/economie/la-suisse-veut-faire-rentre-les-cryptomonnaies-dans-le-rang/47018906>

Androulaki, E., Barger, A., Bortnikov, V., Cachin, C., Christidis, K., De Caro, A., ... & Yellick, J. (2018). Hyperledger fabric: A distributed operating system for permissioned blockchains. Proceedings of the Thirteenth EuroSys Conference, 30. <https://doi.org/10.1145/3190508.3190538>

Antonopoulos, A. M. (2014). Mastering Bitcoin: Unlocking Digital Cryptocurrencies. Sebastopol, CA: O'Reilly Media.

Antonopoulos, A. M., & Wood, G. (2018). Mastering Ethereum: Building Smart Contracts and DApps. O'Reilly Media.

Apostolescu, I. C. (2023). Le notariat traditionnel face à la blockchain. L'Europe Unie, 20(20), 75-82. appartement réel via les NFT. Immo2.pro.

Armandet, P. (2018, 11 avril). Madre, le premier projet blockchain de la Banque de France - L'Agefi. L'Agefi. <https://www.agefi.fr/news/tech-finance/madre-le-premier-projet-blockchain-de-la-banque-de-france>

Arner, D. W., Barberis, J., & Buckley, R. P. (2021). The evolution of Fintech: A new post-crisis paradigm? Georgetown Journal of International Law, 47, 1271-1319. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2676553>

Atzei, N., Bartoletti, M., & Cimoli, T. (2017). A survey of attacks on Ethereum smart contracts (SoK). In *Principles of Security and Trust*, 164-186. https://doi.org/10.1007/978-3-662-54455-6_8

Back, A. (2002). Hashcash - A denial of service counter-measure. <http://www.hashcash.org/papers/hashcash.pdf>

Bali, S. (2024, 7 mars). Tokenized Real Estate : Statistics and Exploring Real-World Examples. Vegavid Technology. <https://vegavid.com/blog/tokenized-real-estate-statistics-and-exploring-real-world-examples/#>

Bamdé, A. (2021, 25 septembre). RGPD: Le droit à l’effacement ou le “droit à l’oubli” Le Droit Dans Tous Ses États. <https://aurelienbamde.com/2019/01/02/le-droit-a-leffacement-ou-le-droit-a-loubli/>

Baum, A. (2021). Tokenization—The future of real estate investment?. *The Journal of Portfolio Management*.

Beck, R., Avital, M., Rossi, M., & Thatcher, J. B. (2017). Blockchain Technology in Business and Information Systems Research. *Business & Information Systems Engineering*, 59(6), 381-384. <https://doi.org/10.1007/s12599-017-0505-1>

Belaid, D. (2023). Le capital-risque comme locomotive de croissance au service des startups et de l’économie-L ‘ASF synonyme de consécration, 94-117.

Belfius. (2022). Belfius innove avec la blockchain pour les paiements internationaux. <https://www.belfius.com/blockchain-paiements-internationaux>

Benjamindubuc. (2021, 28 juin). Swissroc Capital Holding SA entre au capital de Tokenestate SA - Swissroc. Swissroc. <https://swissroc.ch/fr/swissroc-capital-holding-sa-entre-au-capital-de-tokenestate-sa/>

Ben-Sasson, E., Chiesa, A., Garman, C., Green, M., Miers, I., Tromer, E., & Virza, M. (2014). Zerocash: Decentralized anonymous payments from bitcoin. In *2014 IEEE Symposium on Security and Privacy* (pp. 459-474). IEEE.

Bernstein, D. J., Buchmann, J., & Dahmen, E. (Eds.). (2017). *Post-Quantum Cryptography*. Springer Science & Business Media.

Bertoia, F. (2020). La tokenisation des actifs immobiliers : l'exemple d'Equisafe. *Revue de droit bancaire et financier*, 3, dossier 11

Blockchain, M. (2022, 23 mars). La preuve et la blockchain : tout ce qu'il faut savoir. *Maestria Blockchain*. <https://maestria-blockchain.com/2022/03/23/la-preuve-et-la-blockchain-tout-ce-qu'il-faut-savoir/>

Blockimmo. (2021, 8 décembre). "Hello World" from the Crypto Valley : first real estate transaction on blockchain. *Medium*. <https://medium.com/blockimmo/hello-world-from-the-crypto-valley-first-real-estate-transaction-on-blockchain-2bf985b0ff3>

Bloomberg. (2018, 12 novembre). Blockchain takes Manhattan real estate. *Bloomberg*. <https://www.bloomberg.com/news/videos/2018-11-12/blockchain-takes-manhattan-video>

Böhme, R., Christin, N., Edelman, B., & Moore, T. (2015). Bitcoin: Economics, Technology, and Governance. *Journal of Economic Perspectives*, 29(2), 213-238.

Bonneau, J., Miller, A., Clark, J., Narayanan, A., Kroll, J. A., & Felten, E. W. (2015). SoK: Research perspectives and challenges for Bitcoin and cryptocurrencies. In *2015 IEEE Symposium on Security and Privacy*, IEEE, 104-121.

Buterin, V. (2014). *Ethereum: A Next-Generation Smart Contract and Decentralized Application Platform*. <https://ethereum.org/en/whitepaper/>

Buterin, V. (2020). *Ethereum 2.0 Launch Announcement*. <https://blog.ethereum.org/2020/12/01/ethereum-2-0-launch/>

Buterin, V. (2020). *Ethereum 2.0: A next-generation blockchain technology*. <https://ethereum.org/en/eth2/>

Cachin, C. (2016). Architecture of the Hyperledger blockchain fabric. *Workshop on Distributed Cryptocurrencies and Consensus Ledgers*. <https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/release-1.4/arch-deep-dive.html>

Cachin, C., Schubert, S., & Vukolić, M. (2017). Non-determinism in Byzantine Fault-Tolerant Replication. *arXiv preprint arXiv:1702.03068*.

Capelli. (2019). Une première opération Capelli financée par tokenisation avec Wecan Tokenize Capelli Immobilier. <https://capelli-immobilier.fr/actualites/une-premiere-operation-capelli-financee-par-tokenisation-avec-wecan-tokenize>

Čapko, D., Vukmirović, S., & Nedić, N. (2022, novembre). State of the art of zero-knowledge proofs in blockchain. In 2022 30th Telecommunications Forum (TELFOR) (pp. 1-4). IEEE.

Catalini, C., & Gans, J. S. (2016). Some Simple Economics of the Blockchain. MIT Sloan Research Paper No. 5191-16. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2874598>

Catena. (2023). Belgium to Prioritize Blockchain as EU Council Leader in 2024. <https://investors.catena.com/news/belgium-to-prioritize-blockchain-as-eu-council-leader-in-2024/>

CFNEWS IMMO. (2023, 7 novembre). Easy blockchain avec Tokenestate, le dernier 5* de Paris, carton plein pour les vefa. CFNEWS IMMO. <https://www.cfnewsimmo.net/Access-libre/Easy-blockchain-avec-Tokenestate-le-dernier-5-de-Paris-carton-plein-pour-les-vefa-376325>

Chainalysis. (2023). Crypto Crime Report. https://go.chainalysis.com/rs/503-FAP-074/images/Crypto_Crime_Report_2023.pdf

Chambers and Partners. (2023). Blockchain 2023 - Belgium. Global Practice Guides. <https://practiceguides.chambers.com/practice-guides/blockchain-2023/belgium>

Chaum, D. (1983). Blind signatures for untraceable payments. Advances in Cryptology Proceedings of Crypto, 82(3), 199-203.

Chen, T., Cong, G., Hu, J., Xu, S., Yang, B., & Yang, M. (2020). Secure multi-party computation for blockchain and consensus protocols in decentralized finance. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, 1-1.

Chow, Y. L., & Tan, K. K. (2022). Real Estate Insights Is tokenization of real estate ready for lift off in APAC?. Journal of Property Investment & Finance, 40(3), 284-290.

Christidis, K., & Devetsikiotis, M. (2016). Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things. IEEE Access.

Clark, C., DeVries, P., Minervini, L., & Shams, A. (2018). The tokenization of assets is disrupting the financial industry. Journal of Applied Corporate Finance, 30(3), 94-102.

- Clark, J., Bonneau, J., Felten, E. W., Narayanan, A., Miller, A., & Goldfeder, S. (2017). On decentralizing prediction markets and order books. In Proceedings of the 2017 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security (pp. 1813-1830). <https://doi.org/10.1145/3133956.3133979>
- Clark, J., Braine, L., Diaz, R., & Neumann, M. (2017). Blockchain Technology Overview. NIST.
- Clément, S., & Lelieur, J. (2021). La conformité anti-blanchiment face aux crypto-actifs. RSC, 1(1), 15-27.
- CoinDesk. (2023). Belgium to Push European Blockchain Network During EU Council Presidency. <https://www.coindesk.com/policy/2023/12/18/belgium-to-push-european-blockchain-network-during-eu-council-presidency-digital-minister-says/>
- Consensys Staking | Self-Custodial Staking on Ethereum. (s. d.). Consensys. <https://consensys.io/staking>
- Croman, K., et al. (2016). On scaling decentralized blockchains. In Lecture Notes in Computer Science, 9604, 106-125. https://doi.org/10.1007/978-3-662-53357-4_8
- Crosby, M., Nachiappan, Pattanayak, P., Verma, S., & Kalyanaraman, V. (2016). Blockchain technology: Beyond bitcoin. Applied Innovation, 2, 6-10.
- Cruikshank, a. (2018, 10 octobre). Le registre foncier de HM testera la chaîne de blocs pour le projet Digital Street. Placetechn. Net
- Custody to Accelerate Adoption of CRE Digital Securities. Prweb.com Dai, W. (1998). b-money <http://www.weidai.com/bmoney.txt>
- De Angelis, S. et al. (2018). PBFT vs Proof-of-Authority: Applying the CAP Theorem to Permissioned Blockchain. Italian Conference on Cybersecurity.
- De Filippi, P., & Loveluck, B. (2016). The invisible politics of Bitcoin: Governance crisis of a decentralized infrastructure. Internet Policy Review, 5(3).
- De Filippi, P., & Wright, A. (2018). Blockchain and the law: The rule of code. Harvard University Press.
- De Lamberterie, I. (2004). L'établissement et la conservation des actes authentiques électroniques en droit français. Rev. Notariat, 106, 379.

De Vries, A. (2018). Bitcoin's Growing Energy Problem. *Joule*, 2(5), 801-805.

Decentralized Identifiers (DIDs) v1.0 becomes a W3C Recommendation. (2022, 19 juillet). W3C. <https://www.w3.org/press-releases/2022/did-rec/>

Deetman, S. (2016). Bitcoin Could Consume as Much Electricity as Denmark by 2020. Motherboard. https://motherboard.vice.com/en_us/article/ypkp3y/bitcoin-could-consume-as-much-electricity-as-denmark-by-2020

Dhillon, V., Metcalf, D., Hooper, M., Dhillon, V., Metcalf, D., & Hooper, M. (2017). The DAO hacked. *blockchain enabled applications: Understand the blockchain Ecosystem and How to Make it work for you*, 67-78.

Digital Equity. (s.d.). <https://digitalequity.lu/>

Doe, J. (2023). How Blockchain is Transforming Real Estate Transactions. Propy. <https://www.propy.com/blockchain-transforming-real-estate>

Dulub, A. (2023, 18 septembre). The Reawakening of Real estate tokenization : Why businesses should take note. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2023/09/15/the-reawakening-of-real-estate-tokenization-why-businesses-should-take-note/?sh=7f8c11443f5d>

DuPont, Q. (2017). Experiments in algorithmic governance: A history and ethnography of “The DAO,” a failed decentralized autonomous organization. *Bitcoin and Beyond*, 157-177.

Equisafe. (2019, 25 juin). Opération AnnA Première vente d’immeuble via la blockchain en Europe. Dossier de presse.

Equisafe. (2021, 11 décembre). Blockchain and STO in real estate - Equisafe - Medium. Medium. <https://medium.com/@Equisafe/blockchain-and-sto-in-real-estate-68ce5cfd1bb2>

Euroclear. (2023). Euroclear launches DLT solution for the issuance of digital securities. <https://www.euroclear.com/newsandinsights/en/press/2023/2023-mr-14-euroclear-launches-dlt-solution.html>

European Central Bank. (2018, 5 octobre). The revised Payment Services Directive (PSD2). https://www.ecb.europa.eu/press/intro/mip-online/2018/html/1803_revisedpsd.en.html

European Commission (2020). Digital finance package. European Commission.

Eyal, I., & Sirer, E. G. (2018). Majority is not enough: Bitcoin mining is vulnerable. In *Communications of the ACM*, 61(7), 95-102. <https://doi.org/10.1145/3212998>

Eyal, I., Gencer, A. E., Sirer, E. G., & Van Renesse, R. (2016). Bitcoin-NG: A scalable blockchain protocol. In *NSDI* (Vol. 16, pp. 45-59).

Figure Technologies. (2020). Provenance Blockchain: Transforming Financial Services.

Finck, M. (2018). Blockchain and the General Data Protection Regulation: Can distributed ledgers be squared with European data protection law?. *European Journal of Law and Technology*, 9(1).

Finck, M. (2018). *Blockchain Regulation and Governance in Europe*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108592234>

Finextra. (2024). Euroclear invests in blockchain company. <https://www.finextra.com/newsarticle/43893/euroclear-invests-in-blockchain-company>

FINMA (2019). Guidelines for enquiries regarding the regulatory framework for initial coin offerings (ICOs). Financial Market Supervisory Authority.

Franco, P. (2014). *Understanding Bitcoin: Cryptography, Engineering and Economics*. Wiley Finance.

Fredouelle, A. (2016, 8 avril). Comment l'Estonie booste son économie grâce à ; la blockchain. <https://www.journaldunet.com/fintech/1176465-estonie-blockchain/>

Gai, K., & Yu, J. (2020). Blockchain-based decentralized finance: Issues and challenges. arXiv preprint arXiv:2006.01131.

Global Trade Review. (2020). we.trade and Batavia merge blockchain platforms for trade finance. <https://www.gtreview.com/news/fintech/we-trade-and-batavia-merge-blockchain-platforms-for-trade-finance/>

Goldfeder, S., Gennaro, R., Kalodner, H., & Narayanan, A. (2019). Threshold-optimal DSA/ECDSA signatures and an application to Bitcoin wallet security. In *International Conference on Applied Cryptography and Network Security* (pp. 156-174). Springer, Cham.

Golosova, J., & Romanovs, A. (2018, novembre). The advantages and disadvantages of the blockchain technology. In *2018 IEEE 6th workshop on advances in information, electronic and electrical engineering (AIEEE)* (pp. 1-6). IEEE.

- Gupta, A., Rathod, J., Patel, D., Bothra, J., Shanbhag, S., & Bhalerao, T. (2020). Tokenization of real estate using blockchain technology. In *Applied Cryptography and Network Security Workshops: ACNS 2020 Satellite Workshops, AIBlock, AIHWS, AIoTS, Cloud S&P, SCI, SecMT, and SiMLA, Rome, Italy, Octobre 19–22, 2020, Proceedings 18* (pp. 77-90). Springer International Publishing.
- Haber, S., & Stornetta, W. S. (1991). How to time-stamp a digital document. In *Journal of Cryptology*, 3(2), 99-111.
- Hajdu, Á., Jaskó, S., & Márkus, Z. (2019). A formal verification framework for Solidity smart contracts. In *2019 IEEE 27th International Conference on Program Comprehension (ICPC)* (pp. 267-277). IEEE.
- Hassan, M., & Tacchini, E. (2020). Decentralized Finance (DeFi): On Blockchain- and Smart Contract-Based Financial Markets. *Entropy*, 22(6), 657. doi:10.3390/e22060657
- Hildenbrandt, E., Saxena, M., Zhu, X., Rodrigues, N., Daian, P., Guth, D., & Rosu, G. (2018). KEVM: A complete semantics of the Ethereum Virtual Machine. IEEE Computer Society. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8419335>
- Hub.info. (2023, 13 septembre). hub.info. <https://info.hub.brussels/infotheque/avant-de-demarrer/business-model-canevas-bmc-outil>
- Huckle, S., Bhattacharya, R., White, M., & Beloff, N. (2016). Internet of things, blockchain and shared economy applications. *Procedia Computer Science*, 98, 461-466. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.074>
- Hughes, A., Park, A., Kietzmann, J., & Archer-Brown, C. (2019). Beyond Bitcoin: What Blockchain and Cryptocurrency Mean for the Future of Business. *Business Horizons*, 62(3), 273-281.
- Hyperledger. (2021). Hyperledger: Open source blockchain technologies. Hyperledger. <https://www.hyperledger.org/>
- IBM. (2020). we.trade Digital Trade Finance Network strengthens collaboration with IBM. <https://newsroom.ibm.com/2020-05-21-we-trade-Digital-Trade-Finance-Network-strengthens-collaboration-with-IBM>
- Ichbiah, D. (s. d.). *Stablecoin : qu'est-ce que c'est ?* Futura. <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/cryptomonnaie-stablecoin-19671/>

Infrachain. (2022). Infrachain Summit 2022 Report. <https://www.infrachain.com/news1/2022/10/infrachain-summit-2022>

Innovative Initiatives. (2020). Infrachain: weaving a blockchain ecosystem. <https://innovative-initiatives.public.lu/initiatives/infrachain>

Isabel Group. (2020). Four major banks and Isabel Group join forces to streamline business services with KUBE. <https://www.isabelgroup.eu/en/four-major-banks-and-isabel-group-join-forces-to-streamline-business-services-with-kube/>

J.P. Morgan. (2022). Blockchain - onyx asset tokenization <https://www.jpmorgan.com/insights/payments/wallets/blockchain-onyx-asset-tokenization>

Jacob, K., & Gudgeon, L. (2020). Decentralized Finance: The Hype, The Reality and The Opportunity. White & Case LLP.

Johnson, P. C., Laurell, C., Ots, M., & Sandström, C. (2022). Digital innovation and the effects of artificial intelligence on firms' research and development—Automation or augmentation, exploration or exploitation?. *Technological Forecasting and Social Change*, 179, 121636.

KBC. (n.d.). Questions about Kate Coins. <https://www.kbc.be/retail/en/products/payments/self-banking/on-your-smartphone/mobile/mobile-faq/kate-coin.html>

KBC. (n.d.). Save time and money with Kate and Kate Coins. <https://www.kbc.be/retail/en/campaign/tijdengeld.html>

KBC. (n.d.). Transfer money with Kate. <https://www.kbc.be/retail/en/processes/procespaginas-kate/overschrijven-met-kate1.html>

Key, H. (2023, août 21). Tokenized Real Estate : Statistics and Examples - Home Key - Medium. Medium. <https://medium.com/@homekeytechnical/tokenized-real-estate-statistics-and-examples-2701c4cd85f4>

Kiayias, A., Russell, A., David, B., & Oliynykov, R. (2017). Ouroboros: A provably secure proof-of-stake blockchain protocol. In *Annual International Cryptology Conference*, 357-388. https://doi.org/10.1007/978-3-319-63688-7_12

Kube. (n.d.). Verified corporate data for efficient KYC. <https://www.kube-kyc.be/>

La tokenisation de l'immobilier, on en parle ? (s. d.). Artimon. <https://artimon.fr/perspectives/la-tokenisation-de-limmobilier-on-en-parle/>

Lambert, T., Liebau, D., & Roosenboom, P. (2021). Security token offerings. *Small Business Economics*, 1-27.

Larimer, D. (2014). Delegated proof-of-stake (DPOS). Bitshare whitepaper. <https://bitshares.org/technology/delegated-proof-of-stake-consensus/>

Le Média de l'Investisseur. (2024). Tokenisation immobilier : Définition, fonctionnement et avantages.

<https://www.lemediadelinvestisseur.fr/cryptomonnaies/tokenisation-immobilier-definition-fonctionnement-avantages/>

LecaMus, v. (2020, 24 janvier). Propy annonce le succès de ses essais pour placer les registre[s] cadastraux dans la blockchain.Immo2.pro

Ledger Insights. (2019, 18 avril). UK Land Registry successfully completes blockchain trial. Ledgerinsights.com

Letztoken. (2022). *One Stop Shop For Tokenisation*. From <https://www.letztoken.com>

Li, X., Jiang, P., Chen, T., Luo, X., & Wen, Q. (2017). The security of blockchain technology. *Cybersecurity: The Lifeline of Information and Communication Technology*, 133-147.

Magee, T. (2018, 6 février). 7 usages blockchain innovants. Le Monde informatique.fr

Mamun, A. A., & Hassan, R. (2020). A Critical Analysis of Decentralized Finance (DeFi) Services on Blockchain. arXiv preprint arXiv:2009.06779.

Mavilia, R., & Pisani, R. (2020). Blockchain and catching-up in developing countries: The case of financial inclusion in Africa. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, 12(2), 151-163.

Meijnen, A. (2021, 16 septembre). La start-up belge Immotokens promet 3 % de rendement locatif avec son « immobilier blockchainisé » . *Business AM*. <https://fr.businessam.be/la-start-up-belge-immotokens-promet-3-de-rendement-locatif-avec-son-immobilier-blockchainise/>

Meinzer, K. F. (2022, 15 février). Des actifs immobiliers plus liquides grâce à la tokenisation. EY — Suisse. https://www.ey.com/fr_ch/real-estate-hospitality-construction/tokenization-from-illiquid-to-liquid-real-estate-ownership

Ménard, P. Les déterminants de l'investissement en capital-risque d'entreprise.

Merkle, R. C. (1980). Protocols for public key cryptosystems. In Proc. 1980 Symposium on Security and Privacy, IEEE Computer Society, 122-133.

Metinko, C., & Metinko, C. (2024, 26 janvier). The biggest of the big: AI startups raised huge — these were the largest deals of 2023. Crunchbase News. <https://news.crunchbase.com/ai/biggest-ai-startups-openai-msft-eoy-2023/>

Michels, M. (2024, 18 mars). Les différents types de tokens. Start In Blockchain. <https://start-in-blockchain.fr/types-tokens-blockchain/>

Mittal, N. (2019, 8 janvier). La première plate-forme immobilière réglementée basée sur la blockchain. The Blockchain Land. <https://theblockchainland.com/fr/2018/12/25/plate-forme-immobiliere-blockchain/>

Moffett, T. A. (2022). CFTC & SEC: The Wild West of Cryptocurrency Regulation. U. Rich. L. Rev., 57, 713.

Nabilou, H. (2020). How to regulate Bitcoin? Decentralized regulation for a decentralized cryptocurrency. International Journal of Law and Information Technology, 28(1), 30-62.

Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System.

Narayanan, A., Bonneau, J., Felten, E., Miller, A., & Goldfeder, S. (2016). Bitcoin and Cryptocurrency Technologies: A Comprehensive Introduction. Princeton University Press.

Nicolas, a. (2019a, 11 mars). R3 Corda : présentation. <https://alainnicolas.fr/blog/r3-corda-presentation/>

Nicolas, a. (2019b, 15 avril). R3 Corda: limites. <https://alainnicolas.fr/blog/r3-corda-limites/>

Nwokedi, E. (2020, 2 octobre). RedSwan CRE Marketplace Signs Agreement with Coinbase

Onimus, A. (2020). La Blockchain, une révolution dans l'immobilier. Editions Eyrolles.

OpenAI. (2024). ChatGPT (Version GPT-4) [Large language model]. OpenAI. <https://www.openai.com/chatgpt>

Perreau, C. (2017, 15 septembre). Comment l'Estonie décentralise son administration avec la blockchain. Journaldunet. <https://www.journaldunet.com/fintech/1197222-comment-l-estonie-decentralise-son-administration-avec-la-blockchain/>

Perzhanovskiy, N. (2023, 25 juillet). Reg A vs Reg D vs Reg CF what's the difference. LenderKit. <https://lenderkit.com/blog/reg-a-vs-reg-d-vs-reg-cf/>

Peters, G. W., & Panayi, E. (2016). Understanding modern banking ledgers through blockchain technologies: Future of transaction processing and smart contracts on the internet of money. In *Banking Beyond Banks and Money* (pp. 239-278). Springer, Cham.

Portail FinDev. (2018). Base de données Global Findex 2017 : Mesurer l'inclusion financière et la révolution technico-financière. <https://www.findevgateway.org/fr/donnees/2018/04/base-de-donnees-global-findex-2017-mesurer-linclusion-financiere-et-la-revolution>

PRoPy. (2019, 17 octobre). Propy's First Transaction in Northern Europe. Propy.com

Pulse, C. (2023, 27 octobre). ICO vs STO : What are the differences between Initial coin offering and Security Token Offering ? Medium. <https://medium.com/@cyberzenpulse/ico-vs-sto-what-are-the-differences-between-initial-coin-offering-and-security-token-offering-ebf29638a17f>

Raymond, G. (2022, 10 février). Première vente immobilière via blockchain en France. *Capital.fr*. <https://www.capital.fr/crypto/premiere-vente-immobiliere-via-blockchain-en-france-1342764>

Realizing 2030 : Dell Technologies Research Explores the Next Era of Human-Machine Partnerships | Dell FRANCE. (2017). <https://www.dell.com/fr-fr/dt/corporate/newsroom/realizing-2030-dell-technologies-research-explores-the-next-era-of-human-machine-partnerships.htm>

RealT. (2024, 25 avril). RealT, le prétendant idéal pour être le futur GAFAM de la tokenisation ? | RealT FR. Medium. <https://medium.com/realtfrench/realt-le-pr%C3%A9tendant-id%C3%A9al-pour-%C3%AAtre-le-futur-gafam-de-la-tokenisation-82fa30489caa>

Reid, F., & Harrigan, M. (2013). An analysis of anonymity in the Bitcoin system. In *Security and privacy in social networks*, 197-223. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4139-7_10

Ripple. (2020). RippleNet: The Blockchain Solution for Global Payments.

Ripple. (2023). RippleNet Solutions: Enhancing International Payments <https://ripple.com/ripplenet/solutions>

Roh, S., Lee, J., Kim, H., Kim, H., & Yoo, S. (2021). Regulatory issues of blockchain-based decentralized finance: A global perspective. *Applied Sciences*, 11(4), 1780.

Roy, P., & Patro, B. (2022). Financial inclusion of women and gender gap in access to finance: A systematic literature review. *Vision*, 26(3), 282-299.

Saunders, R. S., Land, A. L., Voss, J. C., & Gardner, C. C. (2022). *Folk on the Delaware general corporation law: fundamentals*. Wolters Kluwer Law & Business.

Schär, F. (2021). Decentralized finance: On blockchain- and smart contract-based financial markets. *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, Second Quarter 2021, 103(2), 153-174.
<https://doi.org/10.20955/r.103.153-74>

Schwarcz, S. L., & Bourret, R. (2023). Fractionalizing investment securities: Using FinTech to expand financial inclusion. *Ohio State Law Journal*, 84.

Scott, S. V., Van Reenen, J., & Zachariadis, M. (2017). The impact of the blockchain on the financial services industry. *Journal of Financial Perspectives*, 3(3), 170-195.

SettleMint. (2023). Case Study: Blockchain for Cross-Border Payments.
<https://settlemint.com/case-studies/blockchain-cross-border-payments>

Sharma, R., Singh, S. P., & Jangid, M. (2019). Tokenization: A revolutionary trend in real estate industry. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 8(1), 253-256.
<https://doi.org/10.17577/IJERTV8IS010278>

Sherkow, J. S. (2022). Regulatory sandboxes and the public health. *U. Ill. L. Rev.*, 357.

Shittu, H. (2024, April 1). China launches new blockchain infrastructure platform led by Conflux. *Cryptonews*. <https://cryptonews.com/news/chinese-government-launches-new-blockchain-infrastructure-platform-led-by-conflux.htm>

Shumba, C. (2023, 9 mai). Goldman Sachs says it is exploring the tokenization of real assets. *CoinDesk*. <https://www.coindesk.com/business/2022/04/27/goldman-sachs-says-it-is-exploring-the-tokenization-of-real-assets/>

Silicon Luxembourg. (2022). *LetzToken Archives - Silicon Luxembourg*.
<https://www.siliconluxembourg.lu/tag/letztoken/>

Société Générale. (2019). Société Générale SFH issues the first covered bond as a security token on a public blockchain.

<https://www.societegenerale.com>

Soufaih, A. (2020). Revolutionizing International Remittance Payments Using Cryptocurrency and Blockchain-based Technology.[Sl.].

Stani, K. (2020). Aave Protocol: A decentralized non-custodial liquidity market protocol. Aave Whitepaper.

Stellar Development Foundation. (2021). The Stellar Network: Enabling Decentralized Cross-Border Payments.

Swan, M. (2015). Blockchain: Blueprint for a New Economy. O'Reilly Media.

Swan, M., Urquhart, A., & Zhang, J. (2019). Blockchain-Based Tokenized Equity Markets: Opportunities and Challenges. Journal of Risk and Financial Management, 12(3), 122.

Szabo, N. (1997). Formalizing and securing relationships on public networks. First Monday, 2(9). <https://doi.org/10.5210/fm.v2i9.548>

Szabo, N. (1997). The idea of smart contracts. http://www.fon.hum.uva.nl/rob/Courses/InformationInSpeech/CDROM/Literature/LOTwinterschool2006/szabo.best.vwh.net/smart_contracts_idea.htm

Tapscott, D., & Tapscott, A. (2016). Blockchain revolution: How the technology behind bitcoin is changing money, business, and the world. Portfolio.

Tapscott, D., & Tapscott, A. (2018). How blockchain is changing finance. Harvard Business Review, 96(1), 110-120.

Tasca, P., & Aste, T. (2021). Blockchain technology for a sustainable and accountable finance: Principles and applications. Journal of the British Blockchain Association, 4(2), 1-17. [https://doi.org/10.31585/jbba-4-2-\(1\)2021](https://doi.org/10.31585/jbba-4-2-(1)2021)

Tezos Foundation. (2020, 31 mars). <https://tezos.foundation/update-week-of-2-march-2020/>

The Asian Banker. (2020). we.trade, a blockchain-based trade platform in Europe, collaborates with eTradeConnect in Hong Kong. <https://www.theasianbanker.com/press-releases/we.trade,-a-blockchain-based-trade-platform-in-europe,-collaborates-with-etradecconnect-in-hong-kong>

Thetlek, R., Kraiwanit, T., Limna, P., Shaengchart, Y., Jangjarat, K., & Chaisiripaibool, S. (2023). Financial technology environment for tokenization investment in a developing economy. *Asian Journal of Business Environment*, 13(3), 29-36.

T-Mining. (2021). T-Mining & GUUD successfully piloted the Secure Document Workflow (SDW) network. <https://www.t-mining.be/news1/tag/Secure+Document+Workflow>

T-Mining. (2022). CMA CGM implements T-Mining's Secure Container Release blockchain solution in the Port of Antwerp. <https://www.t-mining.be/news1/2022/6/8/cma-cgm-implements-t-minings-secure-container-release-blockchain-solution-in-the-port-of-antwerp>

Tokeny. (2023). *How BlocHome reduces 90% of compliance and administrative costs by tokenizing real estate*. Tokeny. <https://tokeny.com/tokenized-real-estate-blohome/>

Trouche, V. (2018, 5 décembre). TokenEstate executes first digital share transaction, successfully brings equity instruments to the blockchain. Medium. <https://medium.com/token-estate/tokenestate-executes-first-digital-share-transaction-67128c460f35>

Ullens, R. (2024, 23 février). Qu'est-ce que la tokenisation? *Forbes Belgique*. <https://www.forbes.be/fr/quest-ce-que-la-tokenisation/>

United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC). (2020). Money-Laundering and Globalization. <https://www.unodc.org/unodc/en/money-laundering/globalization.html>.

University of Nicosia. (2024, 17 mai). MSc in Blockchain and Digital Currency. University of Nicosia. <https://www.unic.ac.cy/iff/education-and-training/master-degrees/msc-in-blockchain-and-digital-currency/>

Van Dijk, D. W., & Francke, M. K. (2021). Commonalities in private commercial real estate market liquidity and price index returns. *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, 1-37.

Vergara, i. (2021, 14 mai). Cryptomonnaies : la plateforme Coinbase accélère sa croissance et élargit son offre. *Le Figaro*.

Vranken, H. (2017). Sustainability of bitcoin and blockchains. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 28, 1-9.

Vukolić, M. (2017). The quest for scalable blockchain fabric: Proof-of-work vs. BFT replication. *International Workshop on Open Problems in Network Security*, 112-125. https://doi.org/10.1007/978-3-319-39028-4_8

Vyper. (2021). Vyper: A Pythonic programming language for the EVM. GitHub. <https://github.com/vyperlang/vyper>

Walch, A. (2015). The bitcoin blockchain as financial market infrastructure: A consideration of operational risk. *New York University Journal of Legislation and Public Policy*, 18(3), 837-881.

Wang, S., Yuan, Y., Wang, X., Li, J., Qin, R., & Wang, F.-Y. (2019). An overview of smart contract: Architecture, applications, and future trends. In *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, 108-113.

Week, C. (2022, 10 mai). Réglementation de la crypto-monnaie à Malte : Embrasser la révolution de la crypto - Crypto Week. Crypto Week. <https://cryptoweek.fr/reglementation-de-la-crypto-monnaie-a-malte-embrasser-la-revolution-de-la-crypto>

Werbach, K. (2018). *The blockchain and the new architecture of trust*. MIT Press.

Wintermeyer, L. (2023, 10 juillet). Big financial institutions are adopting crypto and blockchain — what does the technology offer SMBs? Forbes. <https://www.forbes.com/sites/lawrencewintermeyer/2023/07/06/big-financial-institutions-are-adopting-crypto-and-blockchain---what-does-the-technology-offer-smbs/?sh=6a2a2de37e7d>

Wood, G. (2014). *Ethereum: A secure decentralised generalised transaction ledger*. Ethereum Project Yellow Paper. <https://ethereum.github.io/yellowpaper/paper.pdf>

Wood, G. (2020). *Polkadot: Vision for a heterogeneous multi-chain framework*. White Paper. <https://polkadot.network/PolkaDotPaper.pdf>

World Bank Group. (2024). *The Global Findex Database 2021*. In World Bank. <https://www.worldbank.org/en/publication/globalfindex>

World Bank. (2021). *The impact of blockchain technology on finance: A catalyst for change*. World Bank Reports. Link

Wright, A., & De Filippi, P. (2015). *Decentralized Blockchain Technology and the Rise of Lex Cryptographia*. SSRN Electronic Journal. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2580664>

- Yakovenko, A. (2018). Solana: A new architecture for a high performance blockchain v0.8.13. White Paper. <https://solana.com/solana-whitepaper.pdf>
- Yermack, D. (2017). Corporate Governance and Blockchains. *Review of Finance*, 21(1), 7-31.
- Zhang, R., & He, J. (2020). Blockchain Technology and Financial Regulation: A Risk Assessment. *Journal of Financial Regulation and Compliance*, 28(2), 167-182.
- Zhang, R., Xie, S., & Wang, H. (2021). The Decentralized Finance (DeFi) Ecosystem: Emerging Platforms and Future Challenges. *Journal of Financial Innovation*.
- Zhang, R., Zhu, J., & Liu, Y. (2022). Blockchain technology and smart contracts: Opportunities and challenges. *Frontiers in Blockchain*, 5, 674509. <https://doi.org/10.3389/fbloc.2022.674509>
- Zhang, T., & He, D. (2020). Regulatory Challenges and Frameworks for Distributed Ledger Technology. *Journal of Financial Regulation and Compliance*.
- Zheng, M., & Sandner, P. (2022). Asset tokenization of real estate in Europe. In *Blockchains and the token economy: Theory and practice* (pp. 179-211). Cham: Springer International Publishing.
- Zheng, Z., Xie, S., Dai, H., Chen, X., & Wang, H. (2017). An overview of blockchain technology: Architecture, consensus, and future trends. In *2017 IEEE 6th International Congress on Big Data*, 557-564.
- Zohar, A. (2015). Bitcoin: Under the hood. *Communications of the ACM*.
- Zohar, A. (2019). Blockchain Governance: Assessing Models and Implications for Financial Regulation. *Financial Stability Review*, 23, 123-135.
- Zohar, A. (2019). Blockchain technology and its applications. *Communications of the ACM*, 62(10), 22-25.

VIII. Annexes

8.1 Transcriptions des entretiens

Interview avec Jean-Paul Scheuren après la conférence LuxReal

Question: Monsieur Scheuren, pourriez-vous nous expliquer quels sont les principaux avantages de la tokenisation immobilière?

Jean-Paul Scheuren: Bien sûr ! La tokenisation immobilière, c'est vraiment passionnant parce qu'elle rend l'investissement immobilier accessible à plus de gens. Imaginez que vous puissiez acheter une petite part d'un immeuble prestigieux en ville sans devoir déboursier une fortune. C'est exactement ce que permet la tokenisation. Vous pouvez posséder une fraction d'un bien immobilier sous forme de "tokens", un peu comme des actions dans une entreprise. Cela permet une plus grande diversité d'investissements et offre une liquidité accrue, car ces tokens peuvent être vendus ou échangés facilement, contrairement à la vente traditionnelle d'une propriété entière.

Question: Quels sont les risques associés à la tokenisation immobilière?

Jean-Paul Scheuren: Comme toute nouvelle technologie, il y a des défis à surmonter. La régulation est l'un des principaux enjeux. Les lois varient selon les pays, et il faut s'assurer que tout est conforme. Ensuite, il y a les risques technologiques, surtout en ce qui concerne la sécurité des plateformes de blockchain. Personne ne veut voir ses investissements compromis par une faille de sécurité. Enfin, il y a le risque de marché. La valeur des tokens peut fluctuer avec le marché immobilier, donc il est important pour les investisseurs de faire leurs recherches et de comprendre dans quoi ils s'engagent.

Question: En quoi la tokenisation pourrait-elle être bénéfique pour le marché luxembourgeois?

Jean-Paul Scheuren: La tokenisation pourrait vraiment booster le marché luxembourgeois. D'abord, cela pourrait attirer des investisseurs du monde entier, ce qui apporterait plus de capitaux au Luxembourg. Cela peut aussi stimuler l'innovation dans le secteur immobilier, en rendant le marché plus dynamique et inclusif. Pour le Luxembourg, qui est déjà un centre financier important, adopter cette technologie renforcerait encore sa position de leader dans le domaine des technologies financières et des investissements. En fin de compte, cela rendrait le marché immobilier plus accessible et diversifié pour tous.

Interview avec Tahar Slimani, CEO de Digital Equity

Question: Bonjour Monsieur Slimani, merci de prendre le temps de répondre à mes questions. Pouvez-vous nous parler de l'ambition de Digital Equity?

Tahar Slimani: Bien sûr, avec plaisir. Notre ambition chez Digital Equity est de contribuer à faire émerger les leaders de la blockchain de demain. Nous avons neuf ans d'expérience dans ce domaine, et nous cherchons à combiner cette expertise avec une approche humble dans le choix des projets que nous finançons.

Question: Quels sont les principaux aspects de votre stratégie d'investissement?

Tahar Slimani: Nous mettons l'accent sur la sélection des meilleures équipes et sur la diversification des investissements. L'idée est de maximiser les profits tout en réduisant les risques. Nous avons une connaissance approfondie du marché, ce qui nous permet de participer aux levées de fonds les plus prometteuses.

Question: Comment vous positionnez-vous dans l'industrie de la blockchain?

Tahar Slimani: Nous sommes parmi les premiers acteurs de cette industrie. Notre équipe a construit une solide expérience à travers tous les cycles de marché. Nous avons contribué à des projets majeurs et développé un réseau solide qui nous permet d'être présents dans les initiatives les plus recherchées.

Question: Quels sont les secteurs d'investissement privilégiés par Digital Equity?

Tahar Slimani: Nous nous concentrons sur la blockchain, l'intelligence artificielle et le métaverse. Nous investissons dans des actifs tels que Bitcoin, Ethereum, et explorons des technologies comme les zero knowledge proofs et les applications combinant blockchain et IA.

Question: Quelles sont vos perspectives pour l'avenir?

Tahar Slimani: Nous sommes très optimistes. L'approbation des demandes d'ETF par la SEC et le prochain Halving de Bitcoin en 2024 sont des événements prometteurs. Nous croyons fermement que les technologies blockchain et IA continueront à offrir des opportunités de croissance significatives.

Question: Merci beaucoup pour ces précisions.

UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN
Louvain School of Management

Place des Doyens, 1 bte L2.01.01, 1348 Louvain-la-Neuve
Boulevard Emile Devreux 6, 6000 Charleroi, Belgique
Chaussée de Binche 151, 7000 Mons, Belgique

www.uclouvain.be/lsm