الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة سعيدة د. مولاي الطاهر

كلية التكنولوجيا

قسم: الإعلام الآلي

Mémoire de Master

Spécialité : Sécurité informatique et cryptographie

Thème

Système d'enregistrement foncier utilisant la technologie blockchain et le contrat intelligent

Présenté par :

- Aibout Sid Ahmed
- Kaid Slimane

Dirigé par :

- M. Ahmed Chaouki Lokbani

Année universitaire 2022-2023

Remerciements

Tout d'abord. nous exprimons notre reconnaissance envers le Tout-Puissant pour nous avoir donne la resilience. l'endurance et la patience de realiser ce travail.

Nous souhaitons exprimer notre sincere gratitude a notre superviseur. Monsieur Ahmed Chaouki Lokbani. Son encadrement eclaire. son soutien infaillible et ses conseils judicieux ont ete un pilier essentiel tout au long de cette aventure.

Nos sinceres remerciements vont egalement aux membres du jury. pour avoir consacre leur temps precieux a examiner ce travail

Nous exprimons notre reconnaissance a tous nos professeurs pour leur devouement et leur passion a partager leur savoir tout au long de nos annees d'etudes. Leurs enseignements ont forge les bases solides sur lesquelles ce travail a ete construit.

Enfin. un grand merci a tous ceux qui nous ont soutenus de pres ou de loin pendant ce voyage. Votre soutien a ete une source d'encouragement constante et a joue un role indeniable dans la realisation de ce travail.

Dedicaces

Je dedie cette oeuvre á tous ceux qui ont joue un role crucial dans ma vie. Á ma famille et á mes proches qui m'ont toujours soutenu, merci pour votre amour inconditionnel et votre foi inebranlable en moi. Á tous mes enseignants qui m'ont guide sur le chemin de la connaissance, votre influence est gravee dans mon coeur. Á mes amis, compagnons constants de ce voyage, votre presence a eclaire les moments les plus sombres. Et á toutes les personnes qui ont attendu et prie pour l'achévement de ce travail, votre soutien a ete ma force motrice.

Sid ahmed.A

Dedicaces

Ce travail est dedie á tous ceux qui ont touche ma vie de maniére significative. Á ma famille et á mes proches, merci pour votre soutien constant et votre amour inebranlable. Á mes enseignants qui m'ont aide á naviguer dans le vaste ocean du savoir, votre sagesse restera avec moi á jamais. Á mes amis, qui ont partage avec moi les hauts et les bas de ce voyage, votre amitie est un don precieux. Et á tous ceux qui ont attendu avec impatience et prie pour la reussite de ce travail, votre foi en moi a ete une source d'inspiration indefectible.

Slimane.K

Table des matières

Table des matières

Table dess figures

Liste des tableaux

Introduction générale **1**

Chapitre 01 : Concept de base de la technologie blockchain **3**

1. **Introduction** 4
2. **Définition de la blockchain** 5
3. **Les origines de blockchain** 6
4. **Principes de la blockchain** 7
5. **Types de blockchain** 9
6. **Acteurs de blockchain** 11
7. **Fonctionnement du blockchain bitcoin** 13
8. **System blockchain** 15
9. **Simulation des chaînes de hachage dans le réseau blockchain** 17
10. **Composition d'une blockchain** 20
11. **Smart contract** 21
12. **Exemple de smart contract** 22
13. **Avantage et inconvénient** 23
14. **Conclusion** 24

Chapitre 02 : Applications de la technologie blockchain **25**

1. **Introduction** 26
2. **Domaines d'application de la blockchain** 26
3. **Diverses applications décentralisées de la technologie blockchain** 29
4. **Plateformes de blockchain** 31
5. **Machine virtuelle Ethereum** 32
6. **Conclusion** 33

Chapitre 03 : Enregistrement foncier et immobilier utilisant la technologie blockchain **34**

1. **Introduction** 35
2. **Problèmes et défis actuels de l'enregistrement foncier et immobilier** 35

3. La technologie blockchain comme solution aux défis de l'enregistrement foncier et immobilier …. 36

4. Les défis de l'enregistrement foncier et immobilier dans les pays en développement 37

.5 Adoption de la technologie Blockchain pour l'amélioration de l'enregistrement foncier dans différents pays 39

6. L'intégration de la technologie Blockchain pour l'amélioration de la sécurité et de la transparence dans les registres fonciers 40

7. La Blockchain démystifiée : Une histoire simplifiée pour saisir l'impact sur l'enregistrement foncier 41

8. Les avantages de la blockchain dans l'enregistrement foncier 41

9. Conclusion 42

Chapitre 04 : Conception et Modélisation d'un Système d'Enregistrement Foncier et Immobilier Basé sur la Blockchain **43**

1. Introduction 44

2. Analyse des Exigences du Système 45

3. Modélisation du Système avec UML 48

4. Conception de la Solution Blockchain 54

5. Conception des Smart Contracts 56

6. Défis de la mise en œuvre et comment les surmonter 57

7. Conclusion 58

Chapitre 05 : Réalisation d'une Application Blockchain pour l'Enregistrement Foncier et Immobilier **60**

1. Introduction 61

2. Outils de développement et langages utilisés 61

3. Présentation des interfaces de développement 64

4. Conclusion 78

Conclusion Générale **79**

Bibliographie

Annexe

Table des figures

Figure 1: Principes de la blockchain 9
Figure 2:Les Types de blockchain 11
Figure 3: Acteurs de blockchain 13
Figure 4: Le fonctionnement de la blockchain Bitcoin 15
Figure 5:Séquence de hachage de la blockchain 16
Figure 6 : Fonction de hachage appliquée à une transaction de 5 Bitcoin 17
Figure 8:Transaction de 5 Bitcoin incluse dans un bloc avant l'extraction 18
Figure 7 : Transaction de 5 Bitcoin incluse dans un bloc après l'extraction 18
Figure 9 : Transaction de 5 Bitcoin dans le contexte de l'ensemble de la Blockchain 19
Figure 10 : Transaction de 5 Bitcoin dans le contexte d'un Systèmes distribués 20
Figure 111 : Les cas d'utilisation de la blockchain 29
Figure 112 : Exemples de sites Web et d'applications utilisant la technologie Blockchaine 31
Figure 13 : Schéma du déroulement des transactions immobilières sur le réseau Blockchain 41
Figure 14 : Les types de diagrammes UML. 48
Figure 15 : Exemple de cas d'utilisation. 50
Figure 16 :Diagramme UML de Cas utilisation pour un système d'enregistrement foncier. 51
Figure 17 : Diagramme UML de séquence pour un système d'enregistrement foncier. 54
Figure 18 : Carte DeFi Ethereum. 56
Figure 19 : Schéma expliquant comment fonctionne un contrat intelligent. 57
Figure 20 : Logo de langue Solidité 62
Figure 21 : L'interface "Pré-login" 64
Figure 22 : L'interface "login" 65
Figure 23 : L'interface " metamask " 66
Figure 24 : Interface " Contract Owner – Add Land Inspector" 67
Figure 25 : L'interface " All Land Inspector " 67
Figure 26 : L'interface " Register User" 68
Figure 27 : L'interface "User Dahboard" 69
Figure 28 : L'interface "Add Land" 70
Figure 29 : L'interface "My Land" 71
Figure 30 : L'interface "Land Gallery" 71
Figure 31 : L'interface "My send Land Request" 72
Figure 32 : L'interface " My Received Land Request" 73
Figure 33 : L'interface "Land Inspector Dashboard" 73
Figure 34 : L'interface " Verify user" 74
Figure 35 : L'interface " Verify Land" 75
Figure 36 : L'interface " All Users" 75

Liste des tableaux

Table 1 : Scénario des cas d'utilisation. 53

Abstract

This research examines the extensive potential and application of blockchain technology, notably in the field of land and real estate registration. The study begins with a comprehensive introduction to the basic principles, actors, functioning, and types of blockchain technology, focusing on smart contracts, their examples, and the advantages and drawbacks of blockchain. It then expands into the diverse applications of blockchain technology across various sectors. The main focus of the study is the potential for blockchain technology in addressing current issues in land and real estate registration, such as fraud, lack of transparency, and outdated technological infrastructure. The research outlines the design and modeling of a blockchain-based system for land and real estate registration. It concludes with the practical implementation of an application for this system, discussing the development tools, languages used, system requirements, and user interfaces. The research provides valuable insights into overcoming the challenges of implementing blockchain technology in land and real estate registration.

Keywords:

Blockchain, Smart Contract, Real Estate Registration, System Design, Fraud, Transparency, Distributed Applications, DApps, Implementation

Résumé

Cette recherche examine le potentiel étendu et l'application de la technologie blockchain, notamment dans le domaine de l'enregistrement foncier et immobilier. L'étude commence par une introduction complète aux principes de base, aux acteurs, au fonctionnement et aux types de la technologie blockchain, en se concentrant sur les contrats intelligents, leurs exemples, et les avantages et inconvénients de la blockchain. Elle se développe ensuite dans les diverses applications de la technologie blockchain à travers divers secteurs. L'accent principal de l'étude est le potentiel de la technologie blockchain pour résoudre les problèmes actuels dans l'enregistrement foncier et immobilier, tels que la fraude, le manque de transparence et l'infrastructure technologique obsolète. La recherche décrit la conception et la modélisation d'un système basé sur la blockchain pour l'enregistrement foncier et immobilier. Elle conclut avec la mise en œuvre pratique d'une application pour ce système, discutant des outils de développement, des langages utilisés, des exigences du système et des interfaces utilisateur. La recherche offre des perspectives précieuses pour surmonter les défis de la mise en œuvre de la technologie blockchain dans l'enregistrement foncier et immobilier.

Mots clés:

Blockchain, Contrat Intelligent, Enregistrement Immobilier, Conception de Système, Fraude, Transparence, DApps, Applications distribuées, Mise en Œuvre

ملخص

يدرس هذا البحث الإمكانيات الواسعة والتطبيقات المحتملة لتقنية البلوكتشين، وبالأخص في مجال تسجيل الأراضي والعقارات. تبدأ الدراسة بمقدمة شاملة حول المبادئ الأساسية، الأطراف المعنية، وكيفية عمل وأنواع تقنية البلوكتشين، مع التركيز على العقود الذكية وأمثلتها والمزايا والعيوب المرتبطة بالبلوكتشين. ثم تتوسع الدراسة لتغطية التطبيقات المتنوعة لتقنية البلوكتشين في قطاعات متعددة. الهدف الرئيسي للدراسة هو الكشف عن القدرة الكامنة لتقنية البلوكتشين في التعامل مع المشكلات الحالية في تسجيل الأراضي والعقارات، مثل الاحتيال، وعدم الشفافية، والبنية التحتية التكنولوجية القديمة. يحدد البحث تصميم ونمذجة نظام مبني على البلوكتشين لتسجيل الأراضي والعقارات. يختتم البحث بتنفيذ عملي لتطبيق هذا النظام، مناقشة أدوات التطوير، اللغات المستخدمة، متطلبات النظام، وواجهات المستخدم. يقدم البحث رؤى قيمة حول التغلب على التحديات المرتبطة بتنفيذ تقنية البلوكتشين في تسجيل الأراضي والعقارات.

الكلمات الرئيسية

البلوكشين ، العقد الذكي ، التسجيل العقاري ، تصميم النظام ، الاحتيال ، الشفافية ، التطبيقات اللامركزية ، التطبيقات الموزعة ، التنفيذ.

Introduction générale

L'essor des technologies de l'information et de la communication au cours des dernières décennies a donné lieu à des innovations révolutionnaires dans de nombreux domaines. Un exemple particulièrement frappant est la technologie blockchain, qui a vu le jour en 2008 avec la publication du Bitcoin, la première monnaie électronique. Depuis lors, la blockchain a captivé l'attention à divers niveaux, des gouvernements aux entreprises, et est désormais exploitée dans une multitude d'applications bien au-delà de sa fonction originale de monnaie électronique.

Dans le cadre de ce travail de fin d'études, nous nous sommes concentrés sur l'exploration de la technologie blockchain, en réalisant un état de l'art sur le sujet et en présentant un exemple concret de son utilisation. Nous avons spécifiquement choisi le domaine des enregistrements fonciers et immobiliers, un secteur qui fait face à de nombreux défis et problèmes, et dans lequel la blockchain peut offrir des solutions innovantes et efficaces.

Ce mémoire est organisé en cinq chapitres principaux. Le premier chapitre se concentrera sur les concepts fondamentaux de la technologie blockchain, y compris son origine, ses principes, ses types, ses acteurs et son fonctionnement. Nous aborderons également les avantages et les inconvénients de cette technologie.

Le deuxième chapitre passera en revue les diverses applications de la technologie blockchain, en mettant l'accent sur les domaines d'application et les plateformes de développement. Nous introduirons également la machine virtuelle Ethereum, une plateforme blockchain décentralisée qui permet le développement de smart contracts.

Le troisième chapitre sera consacré à notre domaine d'application spécifique : les enregistrements fonciers et immobiliers. Nous discuterons des défis actuels dans ce domaine et de la manière dont la technologie blockchain peut servir de solution prometteuse, en particulier dans les pays en développement.

Le quatrième chapitre détaillera la conception et la modélisation de notre système basé sur la blockchain. Nous définirons les utilisateurs et leurs rôles, les fonctionnalités clés du système et nous présenterons la modélisation du système avec UML. De plus, nous présenterons la conception de la solution blockchain et des smart contracts, ainsi que la mise en œuvre de cette solution.

Enfin, dans le cinquième chapitre, nous présenterons la réalisation de l'application, en décrivant les outils de développement et les langages utilisés, la configuration de l'environnement, et la présentation des interfaces de développement.

Nous conclurons avec une conclusion générale et un aperçu des perspectives futures pour la technologie blockchain dans le domaine des enregistrements fonciers et immobilier

Chapitre 01

Concept de base de la technologie blockchain

1. Introduction

Imaginez un monde où les transactions sont effectuées sans l'intermédiaire de tiers tels que les banques ou les gouvernements, où les contrats sont exécutés automatiquement et où la propriété des actifs est immédiatement transférée. La technologie de la blockchain rend tout cela possible. Elle permet de stocker et de vérifier les transactions de manière sécurisée, transparente et immuable, sans avoir besoin d'un tiers de confiance. La blockchain offre également la possibilité de créer des applications décentralisées, appelées dApps, qui peuvent être utilisées pour une variété de cas d'utilisation, allant des paiements en ligne à la gestion de la chaîne d'approvisionnement.

La blockchain est l'une des technologies les plus innovantes de notre époque, et elle offre des solutions à des problèmes complexes tels que la sécurité des données, la transparence et la confiance dans les transactions. Dans ce chapitre intitulé "Concept de base de la technologie blockchain", nous allons plonger dans les fondements de cette technologie et découvrir comment elle peut changer la façon dont nous effectuons les transactions et interagissons avec les données.

Nous allons commencer par une définition claire de la blockchain, suivie d'un aperçu de son histoire et de ses principes fondamentaux. Nous allons ensuite examiner les différents types de blockchain, les acteurs impliqués dans l'écosystème de la blockchain et le fonctionnement de Bitcoin, la première et la plus connue des cryptomonnaies.

Nous allons également explorer l'architecture et le fonctionnement de la blockchain, y compris des exemples concrets tels qu'Ethereum, les NFT et les contrats intelligents. Nous verrons comment les données sont stockées dans des blocs sécurisés et comment ils sont ajoutés à la chaîne de blocs. Nous discuterons également des avantages et des inconvénients de la technologie de la blockchain, ainsi que des risques et des menaces potentielles.

En fin de compte, nous espérons que ce chapitre vous donnera une compréhension solide de la technologie de la blockchain et de son potentiel pour transformer notre monde.

2. Définition de la blockchain

La blockchain est une technologie de base de données distribuée qui permet de stocker et de transmettre des informations de manière sécurisée et transparente. Elle est basée sur des algorithmes de cryptographie qui garantissent la sécurité des transactions et la confidentialité des données. Contrairement aux bases de données centralisées, la blockchain est décentralisée, c'est-à-dire qu'elle est distribuée sur de nombreux ordinateurs (ou nœuds) qui collaborent pour maintenir la base de données. Chaque nœud dispose d'une copie de la base de données et participe à la validation des transactions.[1]

Le principe de la blockchain repose sur la création d'un grand livre de compte distribué qui enregistre toutes les transactions effectuées sur le réseau. Chaque transaction est regroupée avec d'autres transactions pour former un bloc de données. Les blocs sont ensuite ajoutés à la chaîne de blocs (ou blockchain) de manière chronologique et sécurisée. Chaque bloc est associé à un code de hachage unique qui garantit son intégrité et sa sécurité. Les transactions sur la blockchain sont immuables, c'est-à-dire qu'elles ne peuvent pas être modifiées ou supprimées une fois qu'elles ont été ajoutées à la chaîne de blocs.

La validation des transactions sur la blockchain est effectuée par un mécanisme de consensus. Différents mécanismes de consensus existent, tels que la preuve de travail (PoW), la preuve d'enjeu (PoS) ou la preuve d'autorité (PoA). Dans le cas de la preuve de travail, les nœuds doivent résoudre des problèmes mathématiques complexes pour valider les transactions et ajouter des blocs à la chaîne de blocs. Dans le cas de la preuve d'enjeu, les nœuds doivent prouver leur participation active et leur investissement financier dans le réseau pour pouvoir valider les transactions.

La blockchain est utilisée dans de nombreux domaines, notamment la finance, la santé, les assurances, les services publics, la logistique, etc. Elle permet de garantir l'authenticité et la sécurité des transactions, d'accélérer les échanges, de réduire les coûts et de renforcer la confiance entre les parties. Elle est également utilisée pour créer des applications décentralisées, appelées dApps, qui fonctionnent sur le réseau de la blockchain.

Cependant, la blockchain présente également des inconvénients et des limites. Elle est souvent considérée comme étant énergivore en raison de l'importante puissance de calcul nécessaire pour valider les transactions. Elle peut également être sujette à des failles de sécurité,

des erreurs de programmation ou des problèmes de gouvernance. Enfin, sa complexité technique peut être un frein à son adoption.[2]

En résumé, la blockchain est une technologie de base de données distribuée, sécurisée et transparente qui permet de stocker et de transmettre des informations de manière fiable et immuable. Elle repose sur des algorithmes de cryptographie avancée et est utilisée dans de nombreux domaines pour garantir la sécurité et l'authenticité des transactions. Cependant, elle présente également des inconvénients et des limites qu'il convient de prendre en compte avant de l'adopter.

3. Les origines de blockchain

La technologie de la blockchain a des origines qui remontent aux années 1990, lorsque les chercheurs Stuart Haber et W. Scott Stornetta ont proposé une solution pour horodater les documents numériques de manière à ce qu'ils ne puissent pas être manipulés. Ils ont créé un système de blockchain crypté et sécurisé pour stocker les documents horodatés. En 1992, ils ont introduit le protocole "arbres Merkle" pour améliorer l'efficacité du système en regroupant plusieurs documents dans un bloc. Cependant, cette technologie n'a pas été largement adoptée et le brevet a expiré en 2004.

En 2008, un livre blanc a été publié sur l'introduction d'un système de paiement électronique peer-to-peer décentralisé appelé Bitcoin. Ce livre blanc a été envoyé à une liste de diffusion cryptographique par une personne ou un groupe sous le pseudonyme Satoshi Nakamoto. Bitcoin a été créé le 3 janvier 2009, après que le premier bloc de Bitcoin a été extrait par Satoshi Nakamoto et a contenu une récompense de 50 bitcoins. La première transaction Bitcoin au monde a eu lieu le 12 janvier 2009 entre Satoshi Nakamoto et Hal Finney, qui a reçu 10 bitcoins de Satoshi Nakamoto.[3]

La création de Bitcoin a été la première utilisation réussie de la technologie de la blockchain. Le système a été conçu pour permettre des transactions financières sécurisées et transparentes sans l'intervention d'une autorité centrale. La blockchain permet de stocker de manière sécurisée toutes les transactions effectuées sur le réseau Bitcoin, en utilisant des algorithmes de cryptographie pour garantir l'intégrité des données.

Depuis la création de Bitcoin, la technologie de la blockchain a été utilisée dans de nombreux autres domaines, notamment la logistique, la santé, les assurances et les services

publics. La blockchain permet de garantir la sécurité et la transparence des transactions, réduisant ainsi les coûts et renforçant la confiance entre les parties.[4]

La blockchain est utilisée dans de nombreux secteurs, notamment dans les services financiers, où elle est utilisée pour faciliter les transactions entre les banques et les clients, et dans la gestion de la chaîne d'approvisionnement, où elle permet de suivre les produits à travers toutes les étapes du processus d'approvisionnement. Elle est également utilisée dans la gestion des données de santé, où elle permet de stocker les dossiers médicaux de manière sécurisée et de les partager avec des professionnels de la santé autorisés.

Cependant, la technologie de la blockchain présente également des défis, notamment la complexité technique et les coûts élevés de mise en œuvre et de maintenance. De plus, la réglementation des crypto-monnaies et des technologies de la blockchain est encore en développement, ce qui peut entraîner des incertitudes juridiques et des risques de non-conformité. Les entreprises et les gouvernements doivent donc être prudents lors de l'adoption de cette technologie et prendre en compte les avantages et les inconvénients potentiels.

4. Principes de la blockchain

La blockchain est une technologie révolutionnaire qui permet de stocker des données de manière sécurisée et décentralisée. Les principes fondamentaux de la blockchain reposent sur la décentralisation, la transparence, l'immuabilité et le consensus distribué.[5]

- La décentralisation est le principe clé de la blockchain. Contrairement aux bases de données traditionnelles, la blockchain est distribuée entre tous les nœuds qui la composent. Il n'y a pas d'autorité centrale pour contrôler la blockchain, ce qui la rend résistante à la censure et à la corruption.

- La transparence est un autre principe fondamental de la blockchain. Toutes les transactions sont enregistrées sur la blockchain et sont accessibles à tous les utilisateurs. Cela assure la transparence des données et permet de renforcer la confiance entre les utilisateurs.

- L'immuabilité est un autre principe important de la blockchain. Une fois qu'une transaction est enregistrée sur la blockchain, elle ne peut pas être modifiée ou supprimée. Cela garantit l'intégrité des données et renforce la confiance dans le système.

- Le consensus distribué est également un principe clé de la blockchain. Les transactions ne peuvent être validées que si la majorité des nœuds de la blockchain sont d'accord. Cela garantit que les transactions sont légitimes et que personne ne peut manipuler le système.

- La technologie blockchain a des applications dans de nombreux domaines, tels que les finances, la santé, l'énergie et les chaînes d'approvisionnement. Les blockchains les plus connues et utilisées dans le monde sont Bitcoin et Ethereum, mais il existe d'autres types de blockchains qui ont des fonctionnalités spécifiques adaptées à des cas d'utilisation spécifiques.

- la technologie blockchain est en train de changer les règles du jeu en offrant une alternative à la centralisation et à l'autorité. Les blockchains permettent une plus grande transparence et une plus grande confiance entre les utilisateurs, ce qui peut stimuler l'innovation et faciliter les échanges.[6]

En conclusion, les principes fondamentaux de la blockchain, tels que la décentralisation, la transparence, l'immuabilité et le consensus distribué, sont à la base de cette technologie révolutionnaire. La blockchain offre des avantages considérables en matière de sécurité, de transparence et de confiance, ce qui en fait une solution adaptée à de nombreuses applications dans de nombreux domaines.

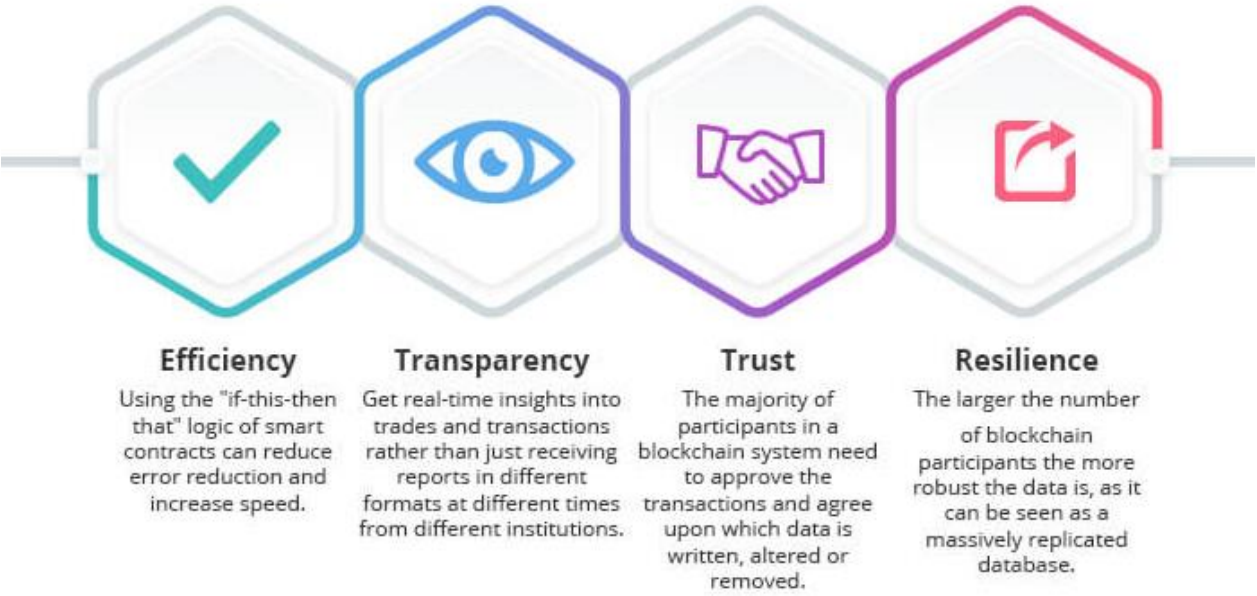

Figure 1: Principes de la blockchain

5. Types de blockchain

La blockchain est une technologie qui offre un potentiel immense pour de nombreuses industries et domaines. Cependant, il existe plusieurs types de blockchains, chacun avec ses avantages et ses inconvénients, et il est essentiel de comprendre les différences entre ces types pour choisir la meilleure solution adaptée à une utilisation particulière.

- Le premier type de blockchain est la blockchain publique. Comme son nom l'indique, cette blockchain est accessible au public et n'a aucune restriction sur les participants et les validateurs. Le principal avantage de ce type de blockchain est sa nature décentralisée et incontrôlable. Personne n'a un contrôle total sur le réseau, ce qui garantit la sécurité et l'immuabilité des enregistrements. Tous les nœuds connectés à cette blockchain publique auront une autorité égale, ce qui rend cette blockchain entièrement distribuée. Les exemples de blockchains publiques incluent Bitcoin et Ethereum.

- Le deuxième type de blockchain est la blockchain privée. Contrairement à la blockchain publique, les participants doivent être invités à faire partie de la blockchain privée. Toutes les transactions ne sont visibles que par les personnes qui font partie de l'écosystème blockchain, ce qui assure une plus grande confidentialité. Ces types de blockchains sont centralisés et mieux contrôlés que les blockchains publiques. Les blockchains privées ont généralement un administrateur réseau qui peut gérer les autorisations des utilisateurs,

au cas où un utilisateur particulier aurait besoin d'une autorité supplémentaire en déplacement. Ces blockchains sont généralement utilisées dans les organisations privées pour stocker des informations sensibles sur l'organisation.

- Le troisième type de blockchain est la blockchain consortium. Ces blockchains sont divisées en deux types différents, où certains nœuds sont privés, tandis que les autres nœuds sont publics. En conséquence, certains des nœuds seront autorisés à participer aux transactions, tandis que les autres contrôlent le processus de consensus. Une blockchain hybride permet à tous les nœuds d'accéder à la blockchain, tandis que le niveau d'informations auquel il est possible d'accéder sera basé sur le nœud accédant à ces données particulières. Dans cette blockchain, il existe généralement deux types d'utilisateurs. L'un est l'utilisateur qui a tous les contrôles sur la blockchain et décide du niveau de sécurité pour un utilisateur particulier, tandis que les autres sont ceux qui accèdent simplement à la blockchain.

- Le quatrième type de blockchain est la blockchain autorisée ou permise. Ce type de blockchain est similaire à la blockchain privée, mais avec quelques différences importantes. Les participants doivent être autorisés à rejoindre la blockchain et il y a une entité centrale qui autorise les participants à rejoindre le réseau. Cette entité centrale peut également avoir un certain niveau de contrôle sur la blockchain. Ce type de blockchain est généralement utilisé dans les entreprises et les organisations qui souhaitent avoir un certain niveau de contrôle sur leur blockchain.

En conclusion, il existe différents types de blockchain, chacun ayant ses avantages et ses inconvénients. Le choix du type de blockchain dépendra de l'utilisation prévue et des exigences spécifiques de chaque cas d'utilisation. Les blockchains publiques sont les plus décentralisées et sont les plus adaptées pour les applications qui nécessitent une transparence et une sécurité maximales. Les blockchains privées sont mieux adaptées aux organisations qui cherchent à stocker des informations confidentielles de manière sécurisée. Les blockchains consortiums sont une option intéressante pour les applications où une certaine flexibilité est nécessaire, tandis que les blockchains autorisées ou permises sont une option pour les organisations qui cherchent à avoir un certain niveau de contrôle sur leur blockchain.[7]

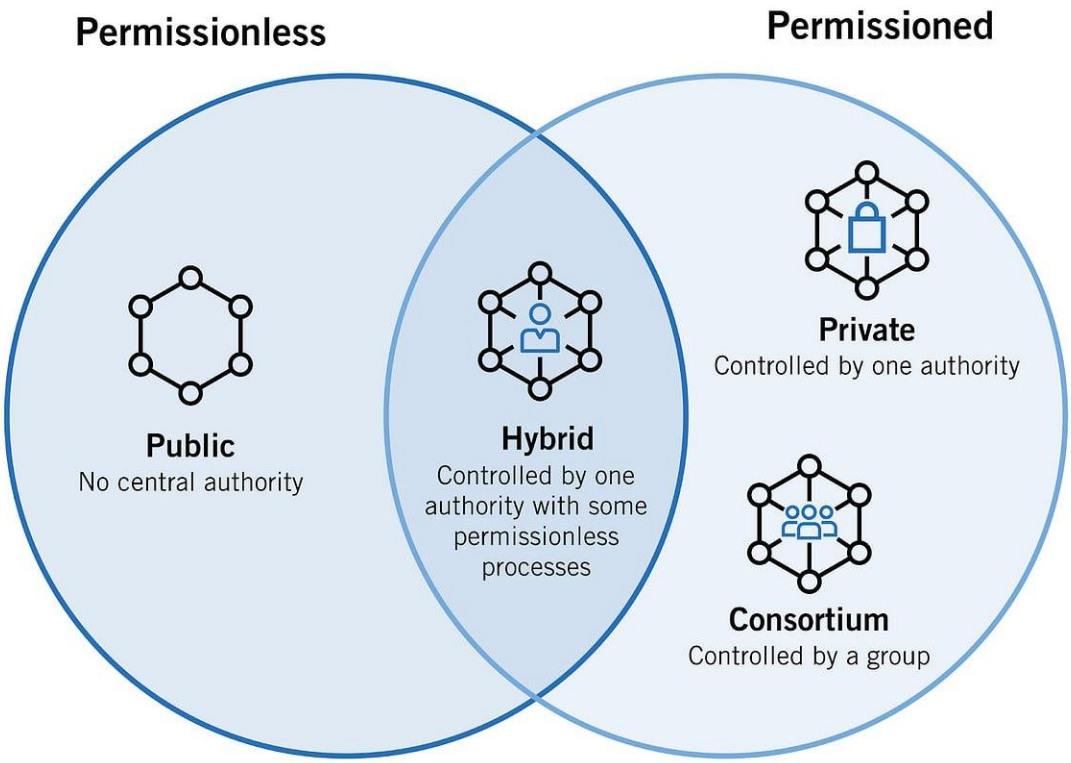

Figure 2:Les Types de blockchain

6. Acteurs de blockchain

Les blockchains sont des infrastructures réseau complexes qui impliquent plusieurs acteurs pour fonctionner. Ces acteurs jouent des rôles clés dans la conception, le développement, le déploiement, la gestion et le support du réseau blockchain.

- Tout d'abord, les architectes blockchain sont les personnes ou les groupes qui conçoivent la blockchain. Ils sont responsables de la création d'une solution blockchain fonctionnelle, qui répond aux exigences de l'entreprise ou de l'organisation qui l'utilise.

- Ensuite, les opérateurs de la chaîne de blocs se concentrent principalement sur la sécurité du réseau blockchain. Ils ne se soucient pas des contrats intelligents et des codes d'interface utilisateur. Leurs rôles consistent à définir le réseau d'entreprise, à contrôler l'accès et à surveiller le réseau d'entreprise.

- Les développeurs blockchain sont chargés d'implémenter des applications qui accèdent à la blockchain et de créer des contrats intelligents à exécuter sur la blockchain. Ils ont une connaissance approfondie de la technologie blockchain et de son fonctionnement.[8]

- Le régulateur blockchain s'intéresse à la manière dont les données doivent être stockées et traitées. Il peut être impliqué dans la mise en place de réglementations pour le stockage et le traitement des données sur la blockchain.

- Les utilisateurs finaux sont les consommateurs des services construits autour de la blockchain. Ils utilisent les applications et les services qui accèdent à la blockchain pour effectuer des transactions et stocker des données.

- Le stockage de données est un aspect important de la blockchain. La blockchain fournit un stockage distribué immuable avec un contrôle d'intégrité intégré. Pour permettre la vérification de l'intégrité de grandes quantités de données, il est courant de stocker les données hors chaîne et de stocker un hachage des données en chaîne. Cela garantit que les données ne sont pas modifiées tout en protégeant la blockchain contre le gonflement.

- Enfin, le traitement des données est un système externe utilisé pour un traitement supplémentaire. Lorsque les contrats intelligents s'exécutent sur la blockchain, cela signifie que chaque membre du réseau homologue doit exécuter le code pour rester synchronisé avec l'état actuel du réseau.

En conclusion, les acteurs de la blockchain jouent des rôles importants dans la création, la gestion et l'utilisation de la technologie blockchain. La collaboration entre ces acteurs est essentielle pour assurer le bon fonctionnement du réseau blockchain.[9]

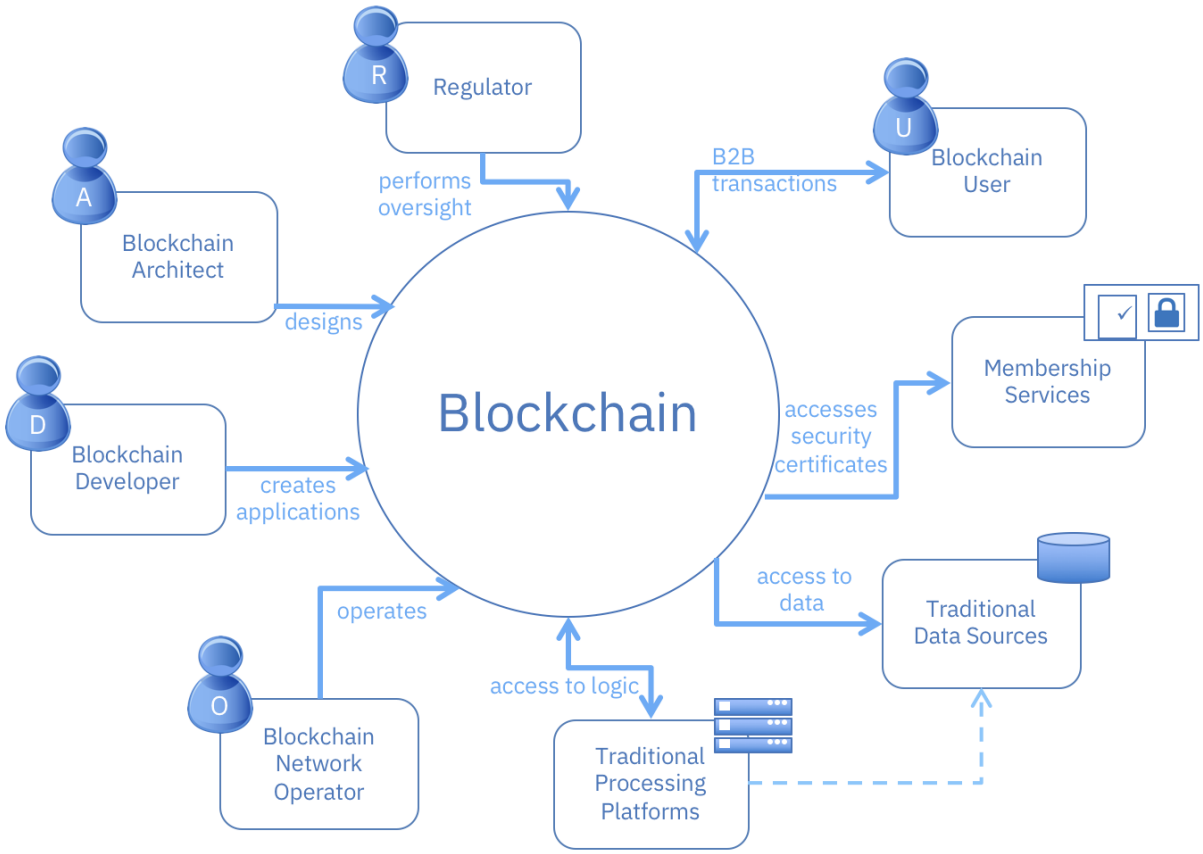

Figure 3: Acteurs de blockchain

7. Fonctionnement du blockchain bitcoin

La blockchain de Bitcoin fonctionne grâce à un processus de validation de transactions appelé « Proof of Work ». Lorsqu'un utilisateur effectue une transaction, celle-ci est enregistrée dans un bloc avec d'autres transactions similaires. Ce bloc est alors vérifié par un groupe de « mineurs » qui utilisent la puissance de calcul de leurs ordinateurs pour résoudre un problème mathématique complexe. Le premier mineur à résoudre le problème mathématique propose ensuite son bloc pour être vérifié par les autres nœuds du réseau. Si la majorité des nœuds confirment la validité du bloc, il est ajouté à la chaîne de blocs. Si le bloc est rejeté, le mineur doit recommencer le processus avec un nouveau bloc.[10]

Le processus de validation de blocs nécessite une puissance de calcul élevée, ce qui garantit que le réseau est sécurisé contre les attaques malveillantes. Les mineurs sont rémunérés pour leur contribution à la validation de blocs avec une récompense en Bitcoin. Cependant, cette récompense diminue au fil du temps pour éviter une inflation excessive de Bitcoin.

La transparence de la blockchain de Bitcoin réside dans le fait que toutes les transactions sont enregistrées dans la chaîne de blocs publique, qui est accessible à tous les utilisateurs du réseau. Chaque bloc est cryptographiquement lié au bloc précédent, créant ainsi une chaîne de blocs qui remonte à la création de la blockchain. Cette chaîne de blocs est immuable, ce qui signifie que les transactions passées ne peuvent pas être modifiées sans modifier tous les blocs qui les précèdent. Cela garantit que les transactions passées sont vérifiables et que les données stockées sur la blockchain sont sécurisées.

Cependant, le processus de validation de blocs et la rémunération des mineurs ont un impact environnemental important. La puissance de calcul nécessaire pour résoudre les problèmes mathématiques consomme une quantité importante d'électricité, ce qui a des répercussions sur l'environnement. Certains projets de blockchain travaillent actuellement sur des solutions alternatives, comme la « preuve d'enjeu », qui utilise une quantité moindre d'énergie en remplaçant la puissance de calcul par des dépôts en crypto-monnaie. Ces solutions alternatives pourraient rendre la technologie blockchain plus durable à l'avenir.[11]

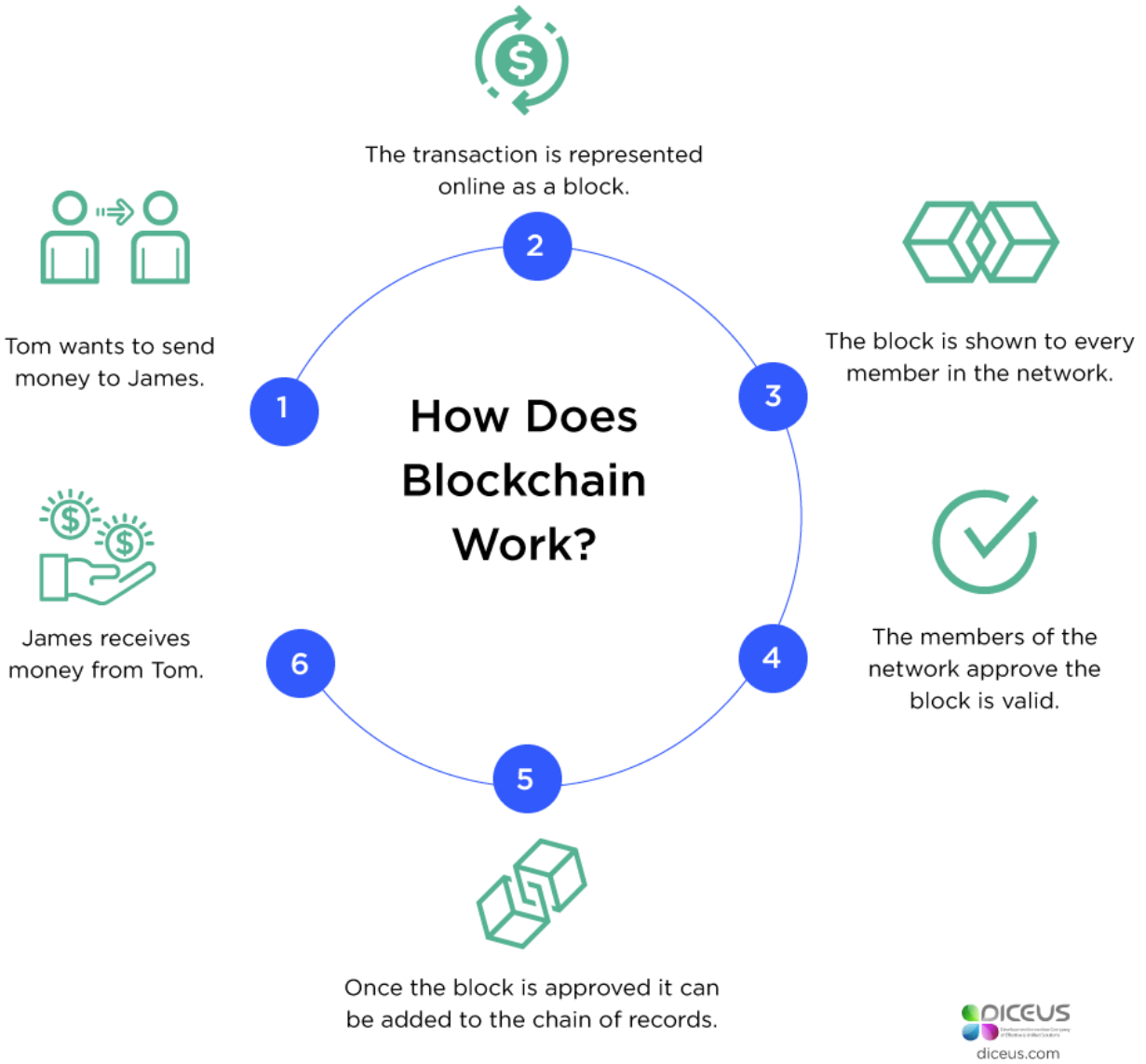

Figure 4: Le fonctionnement de la blockchain Bitcoin

8. System blockchain

La blockchain est un système distribué et décentralisé qui permet de stocker et de gérer des données de manière sécurisée et transparente. Tout appareil connecté à la blockchain peut être considéré comme un nœud, c'est-à-dire qu'il participe au réseau en téléchargeant une copie complète de la base de données blockchain sur son ordinateur ou son serveur.

Le réseau de nœuds est essentiel pour la gestion de la base de données blockchain, car il permet l'entrée de nouvelles données, leur validation et leur propagation sur le réseau. Les règles

de validation et de consensus sont prédéfinies dans un protocole pour garantir la validité technique et commerciale des données.

Lorsqu'un nœud ajoute un nouveau bloc de données à la blockchain, il le fait en le reliant à la chaîne existante de manière à former une chaîne continue de blocs. Chaque bloc est cryptographiquement sécurisé et contient des informations sur les transactions précédentes, ce qui rend la modification des données pratiquement impossible. Les nœuds stockent ensuite ces nouveaux blocs sur leur propre base de données blockchain locale.[12]

La blockchain est devenue un sujet de recherche et d'innovation pour de nombreuses industries, car elle offre une solution fiable et sécurisée pour le stockage et la gestion de données sensibles. Des entreprises comme IBM ont développé des plateformes blockchain pour des applications spécifiques telles que la gestion de la chaîne d'approvisionnement ou la gestion des identités numériques.

En résumé, la blockchain est un système distribué et décentralisé qui permet la gestion sécurisée et transparente de données. Les nœuds du réseau sont essentiels pour la validation et la propagation des données, tandis que les règles prédéfinies garantissent la validité des données stockées. La blockchain est une technologie en constante évolution et offre des solutions innovantes pour de nombreuses industries.[13]

Figure 5:Séquence de hachage de la blockchain

9. Simulation des chaînes de hachage dans le réseau blockchain

9.1. Fonction de hachage

Dans le contexte de la blockchain, une fonction de hachage est un processus mathématique qui prend des données d'entrée de n'importe quelle taille, effectue une opération sur celles-ci, et retourne des données de sortie de taille fixe. Dans le cas de Bitcoin, la fonction de hachage utilisée est SHA-256 (Secure Hash Algorithm - 256 bit).[14]

Lorsque vous envoyez 5 bitcoins, les données de la transaction sont alimentées dans la fonction de hachage. Ces données comprennent l'adresse de l'expéditeur et du destinataire, le montant en bitcoin, et un horodatage. Le résultat, appelé hachage, est une chaîne unique et de longueur fixe de chiffres et de lettres.

Les principales propriétés d'une fonction de hachage sont :

- Déterministe : Pour une entrée donnée, la sortie (hachage) sera toujours la même.
- Calcul rapide : Elle devrait être capable de calculer la valeur de hachage en un temps raisonnable.
- Résistance à la préimage : Il devrait être computationnellement infaisable de déterminer l'entrée originale en ne disposant que de la sortie de hachage.
- De petits changements dans l'entrée produisent des changements drastiques dans la sortie : Même une modification minime de l'entrée (comme changer l'horodatage d'une seconde) produira un hachage complètement différent.
- Résistance aux collisions : Il devrait être extrêmement difficile de trouver deux entrées différentes qui se hachent vers la même sortie.[15]

Figure 6 : Fonction de hachage appliquée à une transaction de 5 Bitcoin

9.2. Bloc

Dans une blockchain, un bloc est comme une page d'un livre de comptes ou d'un registre. Chaque bloc contient plusieurs transactions, et dans notre cas, l'une de ces transactions est la transaction de 5 bitcoins.

En plus des transactions, un bloc dans une blockchain a également un en-tête qui comprend ce qui suit :

- Le hachage de toutes les transactions dans le bloc (également connu sous le nom de racine de Merkle).
- Le hachage de l'en-tête du bloc précédent, créant un lien dans la blockchain.
- Un horodatage.
- Un nonce, qui est une valeur utilisée dans le minage pour trouver un hachage qui répond à l'objectif de difficulté du réseau.

Une fois qu'un bloc est rempli de transactions, il est vérifié par les nœuds du réseau Bitcoin (un processus appelé minage), puis ajouté à la blockchain [16]

Figure 8:Transaction de 5 Bitcoin incluse dans un bloc avant l'extraction

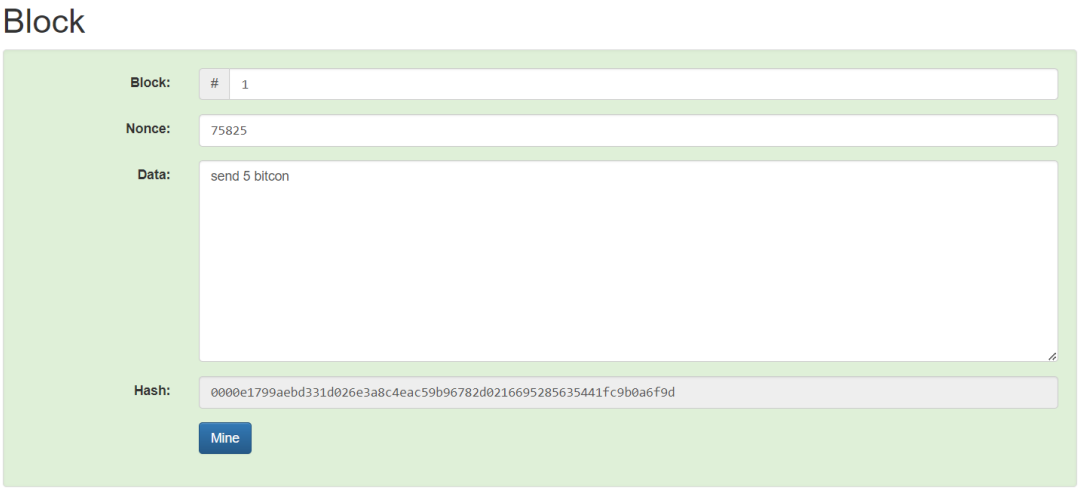

Figure 7 : Transaction de 5 Bitcoin incluse dans un bloc après l'extraction

9.3. Blockchain

Une blockchain est une chaîne de blocs où chaque bloc est lié au précédent par le hachage de l'en-tête du bloc précédent. Cela rend la blockchain sécurisée et immuable - si quelqu'un essaie de modifier une transaction (comme changer la transaction de 5 bitcoins en 10 bitcoins), le hachage du bloc changera. Cela romprait le lien avec le bloc suivant dans la chaîne, et la fraude serait remarquée.

Dans le cas de Bitcoin, la blockchain sert de grand livre public de toutes les transactions, et tout le monde peut la consulter. C'est pourquoi la technologie de la blockchain est souvent associée à la transparence et à la sécurité.[16]

.

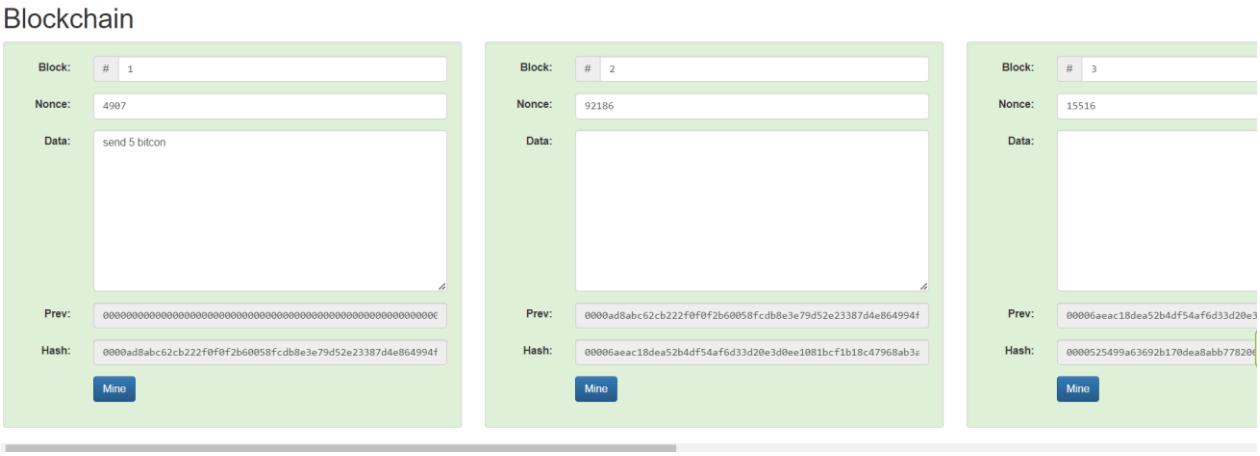

Figure 9 : Transaction de 5 Bitcoin dans le contexte de l'ensemble de la Blockchain

9.4. Systèmes distribués

Dans un système de blockchain distribué comme Bitcoin, de nombreux nœuds indépendants (ordinateurs) participent au réseau. Chaque nœud maintient une copie de l'ensemble de la blockchain. Lorsqu'un nouveau bloc est miné (qui comprend la transaction de 5 bitcoins), il est diffusé à tous les nœuds du réseau. Chaque nœud vérifie ensuite le nouveau bloc et l'ajoute à sa copie de la blockchain.

Cette nature distribuée du système assure qu'il n'y a pas de point unique de défaillance. Même si certains nœuds étaient hors ligne, le système continuerait de fonctionner. De plus, cela rend le système résistant aux modifications frauduleuses. Si un nœud essaye de modifier une transaction dans un bloc, ce bloc modifié ne correspondrait pas aux copies sur les autres nœuds, et la modification frauduleuse serait rejetée.

Dans l'ensemble, ces quatre concepts - les fonctions de hachage, les blocs, la blockchain, et les systèmes distribués - sont fondamentaux pour comprendre comment fonctionnent Bitcoin et d'autres systèmes basés sur la blockchain.[17]

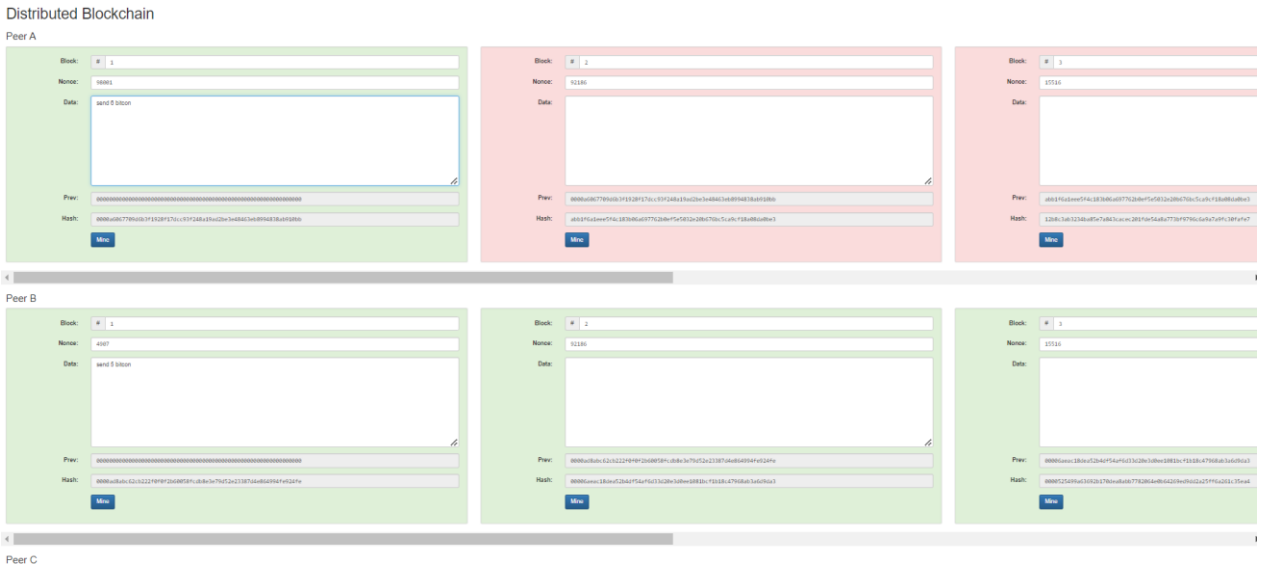

Figure 10 : Transaction de 5 Bitcoin dans le contexte d'un Systèmes distribués

10. Composition d'une blockchain

La composition d'une blockchain est essentielle pour comprendre son fonctionnement et sa sécurité. Chaque bloc de la chaîne contient plusieurs éléments qui contribuent à sa validité et à son intégrité.[18]

Tout d'abord, chaque bloc de la chaîne est indexé et possède un hash unique qui sert à l'identifier. Le hash est généré à partir des données contenues dans le bloc, ce qui rend la modification des données pratiquement impossible. De plus, chaque bloc contient également le hash du bloc précédent, ce qui crée une chaîne de blocs continue et sécurisée.

En plus de ces éléments de base, chaque bloc de la chaîne contient également un timestamp qui indique la date et l'heure de création du bloc. Cela permet de garantir l'ordre chronologique des transactions dans la chaîne.

Enfin, chaque bloc de la chaîne contient un ensemble de transactions. Ces transactions peuvent être de différents types, selon l'application de la blockchain. Par exemple, dans une blockchain de cryptomonnaie, les transactions peuvent inclure des transferts de devises numériques entre utilisateurs.[19]

Le premier bloc d'une blockchain est appelé le "Genesis Block". Ce bloc est généralement créé manuellement par les développeurs de la blockchain et contient des informations importantes sur la création de la blockchain, telles que la date de création et le hash initial.

En conclusion, la composition d'une blockchain est un élément clé de son fonctionnement et de sa sécurité. Chaque bloc de la chaîne contient un index, un hash unique, le hash du bloc précédent, un timestamp et un ensemble de transactions. Comprendre ces éléments est essentiel pour comprendre comment la blockchain fonctionne et comment elle peut être utilisée pour stocker et gérer des données de manière sécurisée.

11. Smart contract

Les smart contracts, également appelés contrats intelligents, ont révolutionné l'univers des transactions commerciales en permettant une automatisation des processus de transaction et de gestion de contrats. Ces contrats programmables sont exécutés sur des blockchains publiques ou privées, où ils peuvent être accessibles à tous les participants autorisés. Les smart contracts sont définis par le code informatique et sont exécutés automatiquement, sans qu'il soit nécessaire de faire appel à un tiers pour vérifier l'exécution du contrat. Ils sont donc une alternative intéressante aux contrats traditionnels, qui nécessitent souvent l'intervention de tiers pour leur application.

Les smart contracts sont particulièrement utiles dans les domaines où les processus de transaction sont complexes, tels que la finance, l'immobilier, les assurances et la logistique. Ils permettent de simplifier et d'accélérer les transactions, tout en réduisant les coûts associés. Par exemple, dans le domaine de l'immobilier, les smart contracts peuvent être utilisés pour automatiser les processus de location, de paiement des loyers et de vérification des conditions du contrat.

En outre, les smart contracts sont hautement sécurisés et transparents. Comme ils sont exécutés sur une blockchain, chaque transaction est enregistrée et vérifiable par tous les participants autorisés, ce qui permet d'éviter les fraudes et les manipulations. Les smart contracts peuvent également être utilisés pour garantir l'exécution de conditions spécifiques du contrat, telles que le paiement d'une somme d'argent ou l'accomplissement d'une tâche, en utilisant des mécanismes de consensus basés sur la blockchain.

Cependant, il convient de noter que les smart contracts ne sont pas infaillibles et peuvent être vulnérables aux attaques informatiques. Les codes qui les définissent peuvent contenir des erreurs ou des vulnérabilités qui peuvent être exploitées par des hackers. De plus, les smart contracts peuvent être difficiles à modifier une fois qu'ils ont été exécutés, ce qui peut poser des problèmes en cas d'erreurs ou de changements dans les conditions du contrat.

Malgré ces défis, les smart contracts représentent une innovation importante dans le domaine des transactions commerciales et sont appelés à jouer un rôle de plus en plus important dans les années à venir. Les applications des smart contracts sont multiples, allant de la finance et de l'immobilier à la santé et à l'énergie, et leur potentiel de réduction des coûts, d'augmentation de la sécurité et d'amélioration de l'efficacité des transactions est immense.[20]

12. Exemple de smart contract

Les smart contracts ont révolutionné l'univers des transactions commerciales en offrant de nombreux avantages dans différents domaines. L'enregistrement foncier et immobilier est l'un des exemples les plus courants de l'utilisation de la technologie blockchain pour la création de smart contracts. Ils permettent de faciliter et d'accélérer le processus de transfert de propriété, tout en réduisant les coûts et les erreurs associés aux transactions immobilières. Les smart contracts garantissent également la sécurité et la transparence des transactions immobilières, en utilisant des mécanismes de consensus basés sur la blockchain pour valider les transactions.

Un autre exemple d'utilisation de smart contracts concerne l'assurance automobile. Ils permettent d'automatiser le processus de réclamation en cas d'accident de voiture. Les contrats intelligents sont programmés pour vérifier les conditions préétablies, telles que l'identification des parties impliquées, la documentation de l'accident et les preuves de dommages. Une fois que ces conditions sont remplies, le contrat peut automatiquement déclencher le paiement de l'indemnisation à la partie lésée, sans avoir besoin d'intervention humaine.

Dans le domaine de l'assurance voyage, les smart contracts peuvent être utilisés pour automatiser le processus de souscription et de gestion de l'assurance voyage. Les contrats intelligents peuvent être programmés pour vérifier les conditions de couverture, telles que les dates de voyage, les destinations et les activités couvertes. Ils peuvent également déclencher automatiquement le paiement de l'indemnisation en cas d'annulation, de retard ou de perte de bagages. Les smart contracts permettent également de garantir que les voyageurs ont les

informations nécessaires sur leur couverture d'assurance en cas d'urgence, et de fournir une assistance en temps réel en cas de besoin.

En somme, les smart contracts offrent des avantages significatifs dans divers domaines. Ils permettent d'automatiser les processus de transaction, de garantir l'exécution des conditions du contrat, de réduire les coûts associés aux processus de transaction et de garantir la sécurité et la transparence des transactions en utilisant des mécanismes de consensus basés sur la blockchain.

13. Avantage et inconvénient

13.1. Avantages :

- Transactions sans intermédiaire : la blockchain permet des transactions directes entre les participants sans nécessiter l'intervention d'un tiers, ce qui réduit les coûts et les délais de traitement.
- Sécurité : la blockchain dispose de plusieurs mécanismes de vérification des données qui rendent l'altération des informations pratiquement impossible.
- Stabilité : une fois que les données sont enregistrées sur la blockchain, il est extrêmement difficile de les supprimer ou de les modifier, ce qui en fait une technologie idéale pour stocker des données financières ou d'autres informations nécessitant une piste d'audit.
- Transparence : la blockchain permet une transparence totale dans les transactions et les enregistrements, ce qui peut améliorer la confiance entre les parties prenantes.
- Réduction des coûts : en éliminant les intermédiaires et en réduisant les coûts de traitement, la blockchain peut aider à réduire les coûts globaux pour les entreprises et les particuliers.
- Traçabilité : la blockchain peut fournir une traçabilité complète des produits, ce qui peut être utile dans des secteurs tels que la chaîne d'approvisionnement et la gestion des stocks.[21]

13.2. Inconvénients :

- Complexité de mise en œuvre : la mise en place d'une blockchain peut être un processus complexe et coûteux, car il faut établir tous les protocoles nécessaires à son bon fonctionnement.
- Risque de chômage : la blockchain vise à éliminer les intermédiaires dans les transactions, ce qui peut entraîner la perte d'emplois dans certains secteurs.
- Anonymat : bien que l'anonymat puisse être considéré comme un avantage, cela peut également avoir des conséquences négatives, telles que l'exposition des informations personnelles et la réduction de la confidentialité des utilisateurs.

- Évolution rapide : la blockchain est une technologie en constante évolution, ce qui signifie qu'il peut être difficile de suivre les derniers développements et les normes en constante évolution.
- Impact environnemental : le processus de validation des transactions sur la blockchain peut être très énergivore et avoir un impact environnemental négatif.[21]

En conclusion, la blockchain présente de nombreux avantages et inconvénients, et il est important de comprendre ces facteurs avant de l'adopter. Bien que les avantages tels que la sécurité, la transparence et la réduction des coûts soient indéniables, les inconvénients tels que la complexité de mise en œuvre, le risque de chômage et l'impact environnemental ne doivent pas être ignorés. En fin de compte, la décision d'utiliser la blockchain dépendra des besoins spécifiques de chaque entreprise et de la manière dont elle peut utiliser cette technologie pour améliorer ses processus et ses performances tout en minimisant les risque

14. Conclusion

Au terme de ce premier chapitre, nous avons exploré en profondeur le concept fondamental de la technologie blockchain. Nous avons commencé par définir la blockchain, en explorant ses origines, ses principes et les différents types qui existent aujourd'hui. Nous avons également identifié les principaux acteurs impliqués dans le développement et l'utilisation de cette technologie.

Nous avons examiné en détail le fonctionnement de la blockchain Bitcoin, qui est l'une des applications les plus connues de cette technologie. Nous avons simulé des chaînes de hachage au sein du réseau blockchain pour comprendre comment elles contribuent à la sécurité et à la transparence du système. Dans ce contexte, nous avons abordé des sujets comme la fonction de hachage, le bloc, la blockchain en elle-même et les systèmes distribués.

Nous avons ensuite décrit la composition d'une blockchain et introduit la notion de contrat intelligent, ou "smart contract", en donnant un exemple concret. Enfin, nous avons évalué les avantages et les inconvénients de la technologie blockchain, soulignant ainsi à la fois son potentiel révolutionnaire et les défis qu'elle doit encore relever.

Il est clair que la blockchain est une technologie qui promet de transformer de nombreux secteurs de notre société. Toutefois, comme toute technologie, elle doit être utilisée avec prudence et discernement. Les chapitres suivants approfondiront cette technologie, ses applications et son potentiel pour l'avenir.

Chapitre 02

Applications de la technologie blockchain

1. Introduction

La blockchain est une technologie qui ne cesse de se développer et qui présente un potentiel important pour améliorer divers secteurs d'activité. Dans ce chapitre, nous explorerons les différentes applications de la blockchain, en examinant les domaines dans lesquels elle peut être utilisée avec succès. Nous passerons en revue les plateformes de blockchain disponibles, ainsi que les diverses applications décentralisées de la technologie blockchain. Nous discuterons également en détail de la machine virtuelle Ethereum, une plateforme de blockchain populaire qui permet aux développeurs de créer et de déployer des applications décentralisées. Enfin, nous conclurons ce chapitre en mettant en évidence les principaux avantages et limites de la technologie blockchain et en discutant des possibilités d'avenir pour cette technologie passionnante.

2. Domaines d'application de la blockchain

La technologie de la blockchain a un potentiel immense et peut être utilisée dans de nombreux domaines. Voici quelques exemples de domaines d'application de la blockchain (1,2,3):

2.1. Vote : La blockchain a le potentiel de révolutionner le système de vote. Grâce à sa nature transparente et inviolable, elle peut assurer la sécurité et la transparence des élections. Les résultats des votes peuvent être vérifiés par tous les électeurs, ce qui élimine la possibilité de fraude électorale. Les plateformes telles que Follow My Vote ont été créées pour offrir un système de vote basé sur la blockchain. Cela permet aux électeurs de voter de manière électronique et de vérifier le résultat du vote sans avoir besoin de faire confiance à un tiers pour compter les voix. Cette technologie est particulièrement utile dans les régions où les élections sont souvent frauduleuses ou où les résultats sont contestés. Les gouvernements et les organisations du monde entier étudient la possibilité d'utiliser la blockchain pour les élections afin de garantir la transparence et la fiabilité des résultats. [22]

2.2. Santé : L'industrie de la santé a de nombreux cas d'utilisation pour la technologie de la blockchain. La blockchain peut être utilisée pour stocker de manière sécurisée les données médicales de manière numérique. Cette technologie peut faciliter le partage des informations entre les patients, les médecins et les institutions de soins de santé. En outre, Les patients peuvent également consentir à partager leurs données avec des chercheurs via la blockchain, ce qui peut aider à accélérer la recherche médicale. Les

sociétés pharmaceutiques peuvent attribuer un code QR unique à chaque médicament, qui permet aux patients de vérifier l'authenticité des médicaments et de garantir leur sécurité. De même, la technologie de la blockchain peut également aider à suivre les produits pharmaceutiques tout au long de leur chaîne d'approvisionnement, ce qui permet de détecter les médicaments contrefaits et les expirés, ainsi que de garantir que les produits sont conservés dans des conditions optimales.[23]

2.3. Art : L'industrie musicale peut bénéficier de la technologie de la blockchain pour garantir une meilleure traçabilité des œuvres, une transparence dans la gestion des droits d'auteur et la répartition des paiements de droits sans passer par des intermédiaires tels que Spotify ou Deezer. Les artistes peuvent ainsi bénéficier d'un système de paiement direct et équitable pour leurs œuvres, sans avoir à payer de commissions excessives à des intermédiaires. Les plateformes de streaming musical décentralisées telles que Voise utilisent la blockchain pour offrir un système de paiement direct aux artistes.[24]

2.4. Banque : Les banques sont souvent perçues comme des intermédiaires dans le système financier mondial, ce qui peut entraîner des problèmes de confiance. La blockchain peut être utilisée pour supprimer ces intermédiaires et offrir un système de transaction financier fiable, transparent et facilement accessible à tous. La blockchain peut aider à accélérer les transactions financières et à les rendre moins coûteuses. Les accords de confiance peuvent être établis à l'aide de contrats intelligents, ce qui peut rendre la conformité plus fluide et faciliter l'accès au capital pour les entreprises.[25]

2.5. Assurances : Les blockchains sont capables de révolutionner le monde des assurances en offrant une plus grande transparence, une plus grande rapidité de traitement et une meilleure précision dans la tarification. En utilisant des smart contracts, les assureurs peuvent vérifier rapidement et avec précision l'authenticité des biens et des documents, ce qui réduit le risque de fraude. La blockchain permet également un suivi en temps réel de l'historique des activités frauduleuses, permettant ainsi une réduction significative du risque de fraude. De plus, la technologie blockchain peut aider à créer de nouveaux modèles commerciaux plus transparents et plus sécurisés en permettant aux assureurs de créer des produits d'assurance basés sur des données en temps réel et des analyses prédictives.[26]

2.6. Commerce : La blockchain peut transformer l'ensemble de l'industrie du commerce de détail en permettant une meilleure traçabilité des produits, de la chaîne d'approvisionnement à la vente au détail. En utilisant la technologie de la blockchain, les

entreprises peuvent créer des registres immuables et transparents pour stocker des informations sur les produits, y compris leur provenance, leur qualité et leur authentification. Ces informations peuvent être consultées en temps réel, permettant aux entreprises de prendre des décisions plus éclairées sur la gestion des stocks, la tarification et la prévision des tendances. La blockchain peut également aider à garantir que les produits sont authentiques en permettant aux consommateurs de vérifier la chaîne d'approvisionnement et la provenance des produits.[27]

2.7. Gestion des identités : La gestion des identités est un autre domaine où la blockchain peut offrir des avantages significatifs en permettant une identification et une vérification plus rapides et plus sécurisées des identités. Les documents d'identification traditionnels tels que les passeports, les cartes d'identité et les permis de conduire peuvent être numérisés et stockés sur une plateforme blockchain. Les individus peuvent ensuite accéder à leurs informations en utilisant une clé privée, ce qui leur permet de partager facilement leurs informations avec des tiers de confiance. La blockchain peut également aider à créer des systèmes d'identification décentralisés, qui ne dépendent pas d'un tiers de confiance centralisé, offrant ainsi une meilleure sécurité et une plus grande confidentialité pour les utilisateurs.[28]

2.8. Jeux : La blockchain est également en train de transformer l'industrie du jeu vidéo en offrant une solution de sécurité, de transparence et de traçabilité pour les transactions en jeu. Les développeurs de jeux peuvent utiliser la blockchain pour créer des environnements de jeu décentralisés où les joueurs peuvent acheter, vendre et échanger des articles de jeu sans avoir besoin d'intermédiaires. De plus, la blockchain peut garantir l'authenticité des articles de jeu et empêcher la contrefaçon.[29]

Un exemple concret de l'utilisation de la blockchain dans les jeux est le jeu CryptoKitties, lancé en 2017. Ce jeu consiste à acheter, vendre et élever des chatons virtuels uniques en utilisant la blockchain Ethereum. Chaque chaton est stocké sur la blockchain et possède un code unique appelé « génome », qui définit ses traits physiques et sa rareté. Les joueurs peuvent acheter et vendre ces chatons en utilisant de la cryptomonnaie.

La blockchain offre également des possibilités de financement participatif pour les jeux indépendants en permettant aux développeurs de créer des jetons de jeu qui peuvent être échangés contre de la cryptomonnaie. Les joueurs peuvent alors soutenir financièrement les développeurs et participer à l'économie du jeu en achetant et vendant ces jetons de jeu. [30]

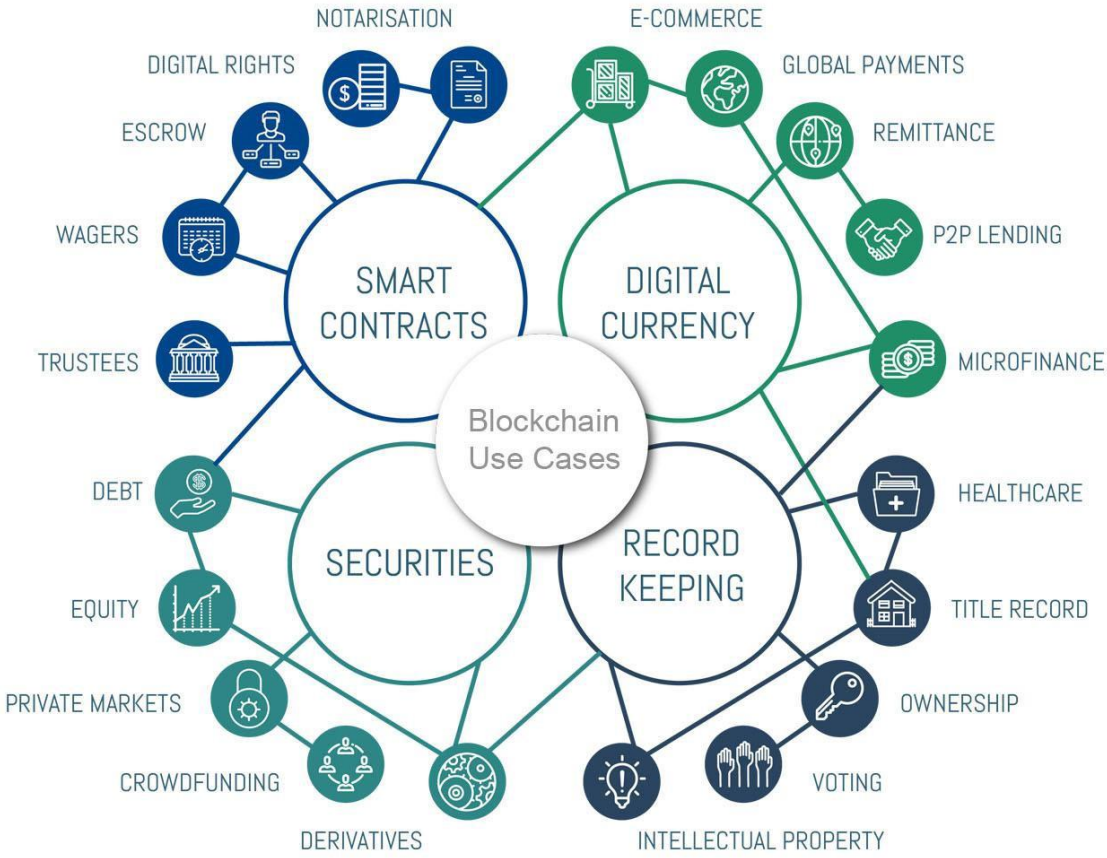

Figure 111 : Les cas d'utilisation de la blockchain

3. Diverses applications décentralisées de la technologie blockchain

Bitcoin est la première et la plus connue des cryptomonnaies. C'est une monnaie distribuée qui exploite un réseau peer-to-peer sans autorité centrale ni banques. Elle a été la première à introduire la technologie blockchain dans le monde. Les transactions et l'émission de pièces sont réalisées collectivement par le réseau blockchain .

3.1. Coinbase : Coinbase, quant à elle, est une plateforme d'échange de cryptomonnaies qui permet d'acheter, de vendre et de stocker des Bitcoin et des Ethereum. Lancée en 2012, elle est basée à San Francisco en Californie .[31]

3.2. Storj : Storj est une plateforme qui offre un stockage cloud basé sur la blockchain avec un système de chiffrement de bout en bout. Contrairement aux offres cloud classiques, les données ne sont pas stockées de manière centralisée sur les serveurs de Storj, mais distribuées de manière centralisée sur les ordinateurs des membres du réseau. Les transactions effectuées avec Storj pour payer l'espace de données sont ajoutées à la chaîne en tant que bloc. Une fois ajoutées, elles ne peuvent pas être supprimées, rendant

la transaction complètement sécurisée. Les transactions sont également visibles pour les autres, garantissant ainsi que tous les paiements sont légitimes .[32]

3.3. Provenance : Provenance est une plateforme basée sur la blockchain pour rendre la chaîne de produits plus visible pour le client. Les entreprises utilisent cette plateforme pour permettre à leurs produits et leurs chaînes d'approvisionnement d'être présentés d'une manière plus transparente et traçable .[33]

3.4. MultiChain : MultiChain est une plateforme blockchain pour créer et déployer des réseaux blockchain autorisés ou privés. En tant que fourchette de la blockchain Bitcoin, MultiChain se concentre sur la fourniture de fonctionnalités telles que l'intégration de la gestion des autorisations des utilisateurs et l'amélioration des fonctions du registre de données .[34]

3.5. Binance : Binance est l'une des plus grandes plateformes d'échange de cryptomonnaies offrant divers services tels que le trading, le staking et le prêt. Elle permet aux utilisateurs d'acheter, vendre et échanger une large gamme de cryptomonnaies, tout en fournissant des outils de gestion de portefeuille et d'analyse de marché.[35]

3.6. Brave : Brave est un navigateur web axé sur la confidentialité, qui intègre la technologie blockchain pour récompenser ses utilisateurs avec sa cryptomonnaie native, le Basic Attention Token (BAT). En choisissant de visionner des publicités, les utilisateurs peuvent gagner des BAT, qui peuvent ensuite être échangés, donnés ou utilisés pour soutenir leurs créateurs de contenu préférés.[36]

3.7. BitPay : BitPay est un fournisseur mondial de services de paiement en Bitcoin, qui permet aux entreprises d'accepter les cryptomonnaies en tant que moyen de paiement. En utilisant BitPay, les entreprises peuvent effectuer des transactions sécurisées, réduire les frais de transaction et accéder à de nouveaux marchés à l'échelle mondiale.[37]

3.8. Metaverse : Le metaverse est un espace virtuel partagé et persistant qui permet aux utilisateurs d'interagir, de créer du contenu et d'effectuer des transactions économiques. La blockchain joue un rôle clé dans le développement du metaverse, car elle fournit une infrastructure décentralisée, sécurisée et transparente pour la gestion des identités, des actifs numériques et des transactions. Grâce à la blockchain, les utilisateurs peuvent posséder et échanger des biens virtuels, ainsi que participer à des systèmes de gouvernance décentralisés au sein du metaverse. [38]

Figure 112 : Exemples de sites Web et d'applications utilisant la technologie Blockchaine

4. Plateformes de blockchain

Les plateformes de la technologie blockchain ont gagné en popularité ces dernières années en raison de leur capacité à fournir une sécurité, une transparence et une immutabilité élevées pour les transactions de données. Dans cette section, nous présentons une liste des plateformes de la technologie blockchain les plus utilisées, telles que décrites dans les articles de référence

4.1. Ethereum : Largement considérée comme l'une des meilleures plateformes de blockchain à utiliser en 2019, Ethereum est connue pour son exécution de contrats intelligents sur un réseau blockchain personnalisé. Les développeurs apprécient également Ethereum pour sa capacité à créer des applications décentralisées et des organisations autonomes démocratiques (DAO). Ethereum est une plateforme open-source prenant en charge plusieurs langages tels que C++ et Python.[39]

4.2. Fabric Hyperledger : Plateforme blockchain privée développée par la Linux Foundation, Fabric Hyperledger vise à stimuler l'utilisation des technologies blockchain dans différents secteurs. Soutenue par plus de 180 entreprises collaboratrices, elle offre une production prête pour les entreprises et prend en charge le langage Python.[40]

4.3. OpenChain : Plateforme open-source populaire, OpenChain est particulièrement utile pour les entreprises à la recherche d'une gestion d'actifs numériques efficace. En tant que réseau privé, elle prend en charge le langage JavaScript.

4.4. EOS : Réseau open-source lancé en 2018 par Block.one, EOS est basé sur le concept de technologie décentralisée qui permet aux utilisateurs d'effectuer diverses tâches sur la plate-forme EOS. Éliminant les frais pour ses utilisateurs, EOS offre une expérience gratuite pour profiter des avantages d'une dApp basée sur EOS. Ouvert au public, il prend en charge le langage C++.[40]

4.5. Stellar : Réseau de grand livre distribué basé sur la technologie blockchain, Stellar offre une solution de paiement transfrontalier rapide et rentable aux entreprises et aux particuliers. La plateforme Stellar permet aux développeurs de créer des portefeuilles mobiles et des outils bancaires intelligents, tels que la sphère de paiement en ligne Paypal. Stellar prend en charge les langages JavaScript et Java et peut être utilisé à la fois en tant que réseau public et privé.[41]

En somme, ces plateformes de blockchain ont été conçues pour fournir une sécurité et une transparence élevées pour les transactions de données. Chacune de ces plateformes a ses propres caractéristiques et avantages uniques, ainsi que des langages de programmation pris en charge. Les entreprises peuvent choisir la plateforme qui convient le mieux à leurs besoins spécifiques en matière de blockchain et de gestion de données.

5. Machine virtuelle Ethereum

La machine virtuelle Ethereum (EVM) est un logiciel qui exécute les contrats intelligents et calcule l'état du réseau Ethereum après l'ajout de chaque nouveau bloc à la chaîne. L'EVM se situe au-dessus de la couche matérielle et du réseau de nœuds d'Ethereum. Son principal objectif est

de calculer l'état du réseau et d'exécuter et de compiler différents types de code de contrat intelligent dans un format lisible appelé « Bytecode ».[42]

Cela rend possible pour les contrats intelligents déployés sur des chaînes compatibles avec EVM comme Polygon ou Avalanche d'être reconnus par les nœuds Ethereum, et permet aux développeurs de transférer leurs dApps ou jetons d'Ethereum vers d'autres chaînes compatibles avec EVM avec une relative facilité*. En somme, l'EVM est un élément clé de l'architecture d'Ethereum qui permet la création et l'exécution de contrats intelligents tout en facilitant l'interopérabilité entre les différentes chaînes de blocs.

6. Conclusion

Les applications de la technologie blockchain sont variées, allant de l'échange de cryptomonnaies au stockage cloud en passant par la traçabilité de produits et la création de réseaux blockchain. Différentes plateformes de blockchain ont été présentées, notamment Ethereum, Fabric Hyperledger, OpenChain, EOS et Stellar, qui sont les plus populaires et les plus utilisées. Chacune de ces plateformes a ses avantages uniques et prend en charge des langages de programmation spécifiques.

En outre, l'EVM (machine virtuelle Ethereum) a été présentée comme un élément clé de l'architecture d'Ethereum, permettant la création et l'exécution de contrats intelligents tout en facilitant l'interopérabilité entre les différentes chaînes de blocs.

Dans l'ensemble, la technologie blockchain est devenue une solution importante pour assurer la sécurité et la transparence des transactions de données dans divers secteurs, tels que les services financiers, la logistique, la santé et bien d'autres encore.

Chapitre 03

Enregistrement foncier et immobilier utilisant la technologie blockchain

1. Introduction

L'enregistrement foncier et immobilier est un processus essentiel qui consiste à documenter les droits de propriété sur un bien immobilier. Il s'agit d'un mécanisme qui garantit la sécurité juridique de la propriété, que ce soit un terrain ou un immeuble, en consignant officiellement les informations sur la propriété, y compris le propriétaire actuel, l'emplacement, les dimensions, et toute transaction antérieure ou actuelle. En général, ce système est géré par des entités gouvernementales ou des institutions spécifiques qui enregistrent et maintiennent ces données. L'importance de l'enregistrement foncier et immobilier réside dans sa capacité à faciliter les transactions immobilières, à prévenir les litiges fonciers, à favoriser le développement économique et à assurer une planification urbaine efficace. Cependant, le système traditionnel d'enregistrement foncier et immobilier est confronté à de nombreux défis et problèmes qui limitent son efficacité, parmi lesquels figurent la lenteur des processus, la vulnérabilité aux fraudes et aux erreurs, ainsi que l'absence de transparence. La technologie blockchain, avec ses propriétés uniques, apparaît comme une solution potentielle à ces défis, offrant des perspectives passionnantes pour l'avenir de l'enregistrement foncier et immobilier.

2. Problèmes et défis actuels de l'enregistrement foncier et immobilier

Les défis et problèmes associés aux systèmes actuels d'enregistrement foncier et immobilier sont nombreux et variés, et ont des implications significatives sur l'économie, la société et l'efficacité de la gestion foncière.

2.1. Lenteur et inefficacité des processus d'enregistrement : L'enregistrement des propriétés ou des transactions immobilières peut prendre plusieurs jours, voire plusieurs semaines, en raison de la collecte, de la vérification des documents nécessaires et de l'approbation par différentes entités administratives. Ces retards peuvent avoir des conséquences financières pour les parties concernées.

2.2. Vulnérabilité à la fraude et à la corruption : Les systèmes actuels d'enregistrement foncier et immobilier sont sujets à la falsification de documents et à la corruption, compromettant ainsi la fiabilité des enregistrements immobiliers.

2.3. Manque de transparence : Il est difficile pour le public d'accéder aux informations sur les propriétés, facilitant ainsi les transactions illégales et entravant la capacité des individus à revendiquer leurs droits de propriété.

2.4. Erreurs de documentation : Les erreurs dans la saisie des données et la gestion des documents sont courantes, ce qui peut entraîner des litiges fonciers et des problèmes juridiques.

2.5. Inaccessibilité pour les populations défavorisées : Les coûts élevés de l'enregistrement et le manque d'informations accessibles excluent souvent les populations les plus pauvres et vulnérables du système.

2.6. Infrastructure technologique obsolète : Les systèmes d'enregistrement foncier et immobilier reposent sur des technologies dépassées qui ne peuvent pas gérer efficacement le volume croissant de données et de transactions, en plus d'être vulnérables aux pannes et aux cyberattaques.

3. La technologie blockchain comme solution aux défis de l'enregistrement foncier et immobilier

vis des citoyens et des investisseurs. L'usage de la blockchain pour la gestion foncière pourrait s'avérer être un véritable levier de croissance pour les pays en développement, en particulier en Afrique, qui ont besoin de renforcer leur sécurité juridique et d'attirer des investissements étrangers.

La technologie blockchain, par sa capacité à offrir une traçabilité complète et inaltérable des transactions, pourrait résoudre de nombreux problèmes fonciers auxquels ces pays sont confrontés. Non seulement elle pourrait réduire les conflits fonciers en fournissant une preuve irréfutable de la propriété, mais elle pourrait aussi stimuler l'activité économique en facilitant les transactions immobilières. De plus, la décentralisation inhérente à la blockchain pourrait aider à lutter contre la corruption en rendant les processus plus transparents et moins susceptibles d'être manipulés.

Toutefois, la mise en œuvre de cette technologie n'est pas sans défis. L'un des problèmes majeurs réside dans l'identification des véritables propriétaires fonciers. Pour que la blockchain puisse être utilisée efficacement pour l'enregistrement foncier, il est essentiel de disposer de

systèmes d'identification fiables. Cela nécessitera un travail préliminaire important pour établir l'identité et les droits de propriété de chaque personne.

De plus, des questions juridiques se posent quant à la validité des transactions réalisées sur la blockchain. Les lois actuelles n'ont pas été conçues pour prendre en compte cette nouvelle technologie, et il faudra donc les adapter. Cela pourrait nécessiter un consensus international, car la blockchain est une technologie décentralisée qui ne se limite pas à une juridiction spécifique.

Malgré ces défis, plusieurs initiatives prometteuses sont en cours. Par exemple, Bitland, une ONG basée au Ghana, travaille à l'enregistrement des titres fonciers sur une blockchain. Le gouvernement du Honduras a également fait appel à Epigraph pour mettre en place un registre foncier basé sur la blockchain. Ces projets pourraient servir de modèles pour d'autres pays qui cherchent à utiliser la blockchain pour résoudre leurs problèmes fonciers.

En conclusion, bien qu'il reste encore beaucoup à faire, la technologie blockchain offre un potentiel énorme pour améliorer la gestion foncière dans les pays en développement. En fournissant une preuve fiable de la propriété et en facilitant les transactions immobilières, elle pourrait contribuer à stimuler l'activité économique, à réduire les conflits fonciers et à lutter contre la corruption. Cependant, pour que cette technologie puisse être pleinement exploitée, il sera nécessaire de surmonter un certain nombre de défis, notamment en matière d'identification des propriétaires fonciers et de législation.[43]

4. Les défis de l'enregistrement foncier et immobilier dans les pays en développement

en 2010, un tremblement de terre a dévasté une grande partie d'Haïti, laissant environ 1,5 million de personnes sans abri. La catastrophe a également détruit soixante ans d'archives gouvernementales, y compris les enregistrements fonciers. Depuis lors, de nombreux Haïtiens ont investi des efforts considérables dans la reconstruction de leurs villes et villages. Cependant, ils restent sans aucun moyen légal de revendiquer la propriété des terres qu'ils possèdent, étant donné que le gouvernement ne dispose pas d'enregistrements de propriété antérieurs. Cela signifie également que les propriétaires n'ont aucun moyen de prouver qu'ils ont droit à des indemnisations. De même, les gens ne disposent pas de preuves de propriété et le système est sujet à l'abus et à la corruption.

Même en l'absence d'une telle catastrophe, les registres fonciers dans les pays en développement sont souvent très déficients. En 2004, seulement 1% des terres en Afrique subsaharienne étaient enregistrées de manière "formelle" par le gouvernement.

Selon Global Witness, une organisation non gouvernementale de plaidoyer, "en 2015, plus de trois personnes ont été tuées chaque semaine en moyenne, en défendant leurs terres". Une étude de 2018 sur les défis de l'enregistrement foncier dans un État du Nigeria a révélé que seulement 11% des consultants en immobilier interrogés ont déclaré qu'ils enregistraient toujours les achats de terrains résidentiels. L'étude a également révélé que la corruption était très répandue, ainsi qu'un processus inefficace d'enregistrement foncier caractérisé par une mauvaise tenue des registres, un stockage inadéquat des documents, des processus complexes et de longs retards pour obtenir les documents nécessaires, s'il y en a. Des litiges antérieurs sur la propriété des terres ont en effet conduit à des troubles sociaux et à la violence.

Si votre arrière-grand-père ou arrière-grand-mère a acheté un terrain qui appartient maintenant à vos parents et que personne n'a de documents d'enregistrement de ce terrain et que personne ne peut prouver à qui il appartient, seule l'histoire et la tradition peuvent vous dire qu'il appartient à votre famille. Le terrain pourrait maintenant valoir des milliards et personne ne peut l'utiliser ou le vendre. Cette situation affecte de nombreuses personnes dans le monde entier. Ce problème est estimé à des milliers de milliards de dollars. Les processus pour y remédier sont très coûteux et prennent du temps, de sorte que la plupart des gens abandonnent simplement leurs terres, inutiles et abandonnées. Dans de nombreux cas dans les pays en développement, des politiciens véreux ou des personnes occupant des postes de pouvoir et leurs alliés saisissent ce type de terres parce qu'ils savent que les véritables propriétaires n'ont pas de preuve de propriété à l'heure actuelle.

Face à ces défis, la technologie blockchain offre une solution prometteuse pour l'enregistrement foncier et immobilier. Elle peut fournir un registre transparent, immuable et sécurisé qui peut être consulté et vérifié par tous les participants du réseau. Cela peut aider à réduire la corruption, à accélérer le processus d'enregistrement foncier et à donner aux propriétaires un moyen légal de prouver leur propriété.

Cependant, l'utilisation de la blockchain pour l'enregistrement foncier et immobilier présente également des limites et des défis. Par exemple, la mise en place d'un système de registre foncier basé sur la blockchain nécessite la participation de toutes les parties prenantes et une bonne gouvernance pour assurer l'intégrité du système. Il est également important de résoudre les problèmes de confidentialité et de protection des données.

Malgré ces défis, la technologie blockchain peut offrir des perspectives prometteuses pour l'enregistrement foncier et immobilier dans les pays en développement. Avec une mise en œuvre appropriée et une réglementation adéquate, la blockchain peut aider à améliorer la sécurité foncière et à stimuler le développement économique dans ces pays.[44]

5. Adoption de la technologie Blockchain pour l'amélioration de l'enregistrement foncier dans différents pays

L'adoption de la technologie blockchain pour l'amélioration de l'enregistrement foncier dans différents pays est en cours. La technologie blockchain permet d'augmenter l'efficacité du traitement des transactions et de réduire la fraude foncière. Les gouvernements peuvent exploiter la technologie blockchain pour relever ces défis. Les propriétaires peuvent avoir une meilleure sécurité juridique et les transactions immobilières peuvent être effectuées plus rapidement, réduisant ainsi les coûts et améliorant l'efficacité. De plus, la technologie blockchain offre la possibilité d'inclure des informations supplémentaires sur la propriété, telles que les limites, les impôts fonciers et les hypothèques, ce qui peut simplifier le processus d'achat et de vente de biens immobiliers.

Plusieurs pays ont adopté la technologie blockchain pour améliorer leurs processus d'enregistrement foncier et de transfert. Par exemple, la République de Géorgie, l'Ukraine, le Brésil, la République du Honduras et les Émirats arabes unis ont vu les avantages de la technologie blockchain dans la réduction de la corruption et de la fraude foncière, la réduction des coûts liés aux processus d'enregistrement foncier et l'accélération des transactions immobilières. En Suède, l'utilisation de la blockchain a permis d'économiser plus de 100 millions de dollars en accélérant les transactions, en réduisant les papiers administratifs et en minimisant la fraude.

L'utilisation de la technologie blockchain améliore la réputation du pays auprès des investisseurs étrangers, car elle permet une transparence et une robustesse accrues du système d'enregistrement foncier. En Ukraine, le gouvernement a développé un système basé sur la blockchain pour attirer les investisseurs étrangers, car le marché est en déclin en raison du manque de confiance dans le système existant. L'initiative vise à lutter contre la corruption et, grâce à sa transparence, la fraude sera totalement éliminée. De même, en République de Géorgie, la blockchain est utilisée depuis février 2017 et plus de 100 000 documents y sont déjà téléchargés.

La technologie blockchain permet également de lier les enregistrements de registre foncier à d'autres services, tels que la collecte de revenus par l'utilisation de contrats intelligents. Par

exemple, à Dubaï, le département des terres a annoncé que la blockchain serait développée pour enregistrer les contrats de relations entre l'Autorité de l'électricité et de l'eau de Dubaï, les systèmes de télécommunications et d'autres factures liées à la propriété. La blockchain peut également être utilisée pour les paiements électroniques et pour enregistrer l'historique complet des transactions.

6. L'intégration de la technologie Blockchain pour l'amélioration de la sécurité et de la transparence dans les registres fonciers

Les terres représentent un bien immobilier important pour lequel des aspects cruciaux évoluent tels que les droits de propriété, la sécurité des registres fonciers, les litiges potentiels, les risques de corruption et la transparence des processus d'enregistrement foncier. Les problèmes critiques sont la traçabilité des enregistrements, les risques de falsification de documents ainsi que la vulnérabilité à diverses erreurs. La mise en place de systèmes d'enregistrement foncier responsables et en particulier l'augmentation de la validité des titres fonciers est essentielle pour les gouvernements actuels en termes de lutte contre la corruption, d'élimination de la bureaucratie, d'amélioration de la transparence, d'accélération du service public et d'éradication des risques de litiges potentiels. De plus, l'intégration de la technologie blockchain dans les registres fonciers conduit à une transformation perturbatrice des systèmes de prestation de services publics.

En utilisant la technologie blockchain pour l'enregistrement foncier, les gouvernements peuvent fournir une solution immuable, transparente et sécurisée pour les transactions de propriété foncière. La blockchain offre un registre distribué et vérifiable, qui permet de réduire la fraude et les erreurs de document, ainsi que d'améliorer la sécurité foncière en fournissant un historique inaltérable des transactions. Elle peut également accélérer le processus d'enregistrement foncier et éliminer les obstacles bureaucratiques, tout en améliorant la transparence et la responsabilité du système.

En outre, l'intégration de la technologie blockchain peut aider à éliminer les risques de litiges et les coûts associés aux différends fonciers. Les propriétaires peuvent avoir une meilleure sécurité juridique et les transactions immobilières peuvent être effectuées plus rapidement et avec moins de frais. L'intégration de la blockchain dans les registres fonciers permet également d'inclure des informations supplémentaires sur la propriété, telles que les limites, les impôts fonciers et les hypothèques, ce qui peut simplifier le processus d'achat et de vente de biens immobiliers.

7. La Blockchain démystifiée : Une histoire simplifiée pour saisir l'impact sur l'enregistrement foncier

La blockchain est un système innovant qui offre une manière sécurisée de consigner des informations. Pour mieux la comprendre, imaginez une histoire simple. James achète un terrain et y construit une maison. Cette action est enregistrée dans un "bloc" sur un grand livre de blockchain. Par la suite, James vend sa maison à Bob. Lors de cet achat, une nouvelle information est enregistrée dans un autre "bloc", qui est alors lié au bloc de James. Bob, à son tour, agrandit la maison et la vend à Catherine. Un nouveau bloc est créé pour Catherine, qui est associé aux blocs de James et Bob. Tous ces blocs, connectés les uns aux autres, forment une chaîne de blocs - ou blockchain - sur un registre central.

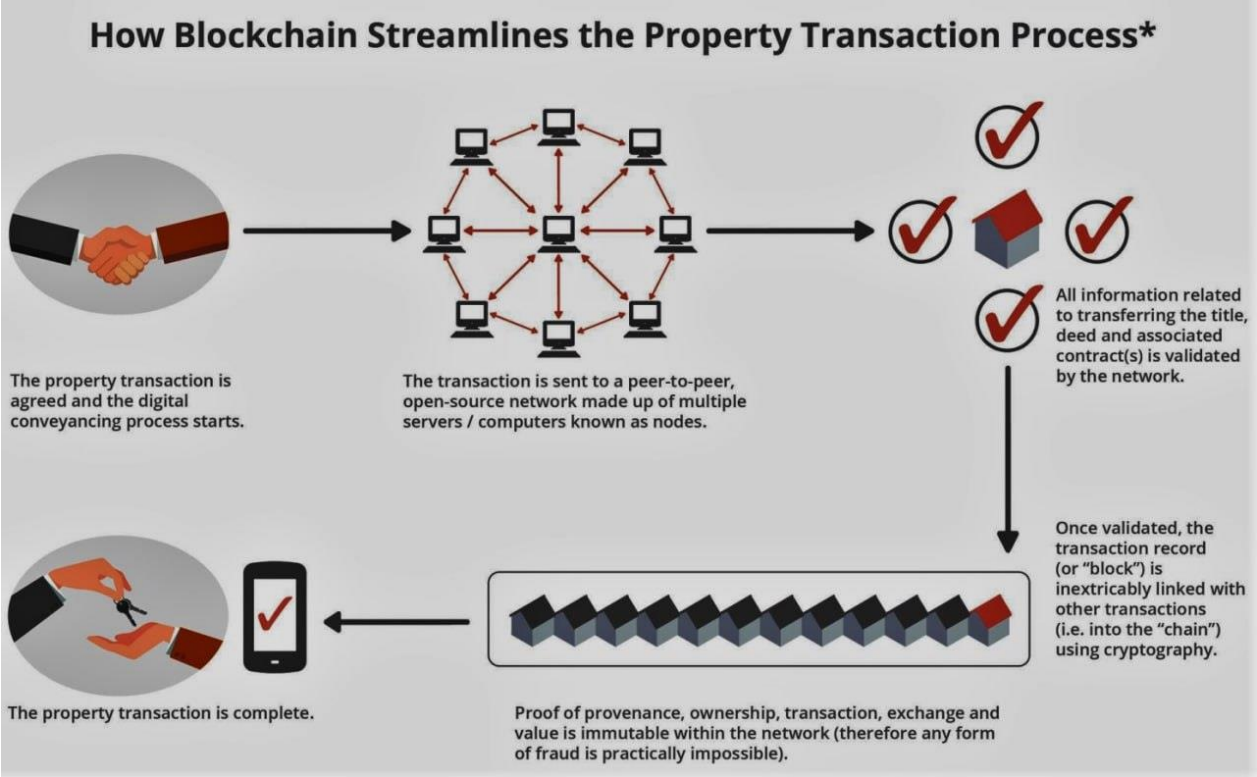

Figure 13 : Schéma du déroulement des transactions immobilières sur le réseau Blockchain

8. Les avantages de la blockchain dans l'enregistrement foncier

Dans le contexte de l'enregistrement foncier, qui implique le transfert de propriété d'une personne à une autre, la blockchain offre de nombreux avantages. Le bien immobilier ne disparait pas, contrairement aux personnes qui peuvent changer. Ainsi, un enregistrement permanent est nécessaire pour suivre la propriété d'un bien et son historique. La blockchain permet à l'utilisateur

final de garder des enregistrements inaltérables et de suivre les mises à jour associées à un enregistrement spécifique.

Voici quelques avantages notables de la blockchain :

- Transparence accrue : Toutes les transactions sont visibles par tous les participants, ce qui garantit une transparence totale.
- Sécurité renforcée : Les informations une fois inscrites sur la blockchain ne peuvent pas être modifiées, ce qui prévient toute tentative de fraude.
- Traçabilité réelle : Chaque transaction, chaque modification est enregistrée et peut être retracée à son origine.
- Réduction des coûts : En éliminant les intermédiaires, la blockchain peut réduire les coûts de transaction.
- Amélioration de la vitesse et de l'efficacité : Les transactions sont traitées de manière quasi instantanée, peu importe l'heure ou le jour.

9. Conclusion

La technologie blockchain offre une solution novatrice et prometteuse pour relever les défis actuels de l'enregistrement foncier et immobilier. Elle peut améliorer la transparence, la sécurité et l'efficacité des processus d'enregistrement foncier, ainsi que renforcer la confiance des investisseurs et des propriétaires fonciers dans les gouvernements.

Bien que la mise en œuvre de la technologie blockchain dans les registres fonciers puisse être coûteuse et complexe, les avantages à long terme pourraient être énormes. Des pays tels que la République de Géorgie, l'Ukraine, le Brésil et les Émirats arabes unis ont déjà adopté cette technologie, améliorant leur réputation en tant que destinations d'investissement sûres et fiables.

Cependant, la technologie blockchain a un impact encore plus important dans les pays en développement, où les systèmes d'enregistrement foncier sont souvent inefficaces et corrompus. Avec l'introduction de la technologie blockchain, ces pays peuvent améliorer la transparence, l'efficacité et la sécurité juridique des propriétaires fonciers, ce qui pourrait avoir des conséquences positives sur l'ensemble de l'économie.

En somme, l'intégration de la technologie blockchain dans les registres fonciers est une étape importante vers un avenir plus sûr, plus efficace et plus transparent pour les propriétaires fonciers, les investisseurs et les gouvernements.

Chapitre 04

Conception et Modélisation d'un Système d'Enregistrement Foncier et Immobilier Basé sur la Blockchain

1. Introduction

Dans ce quatrième chapitre, nous nous penchons sur la conception et la modélisation d'un système d'enregistrement foncier et immobilier basé sur la technologie blockchain. Le but de ce chapitre est de présenter un modèle de système qui peut révolutionner le processus d'enregistrement foncier et immobilier en améliorant la transparence, l'efficacité et la sécurité des transactions. Pour ce faire, nous aborderons les différentes étapes de la conception et de la modélisation du système, en détaillant les exigences, les aspects techniques et les défis de la mise en œuvre.

Nous commencerons par analyser les exigences du système en identifiant les utilisateurs, leurs rôles respectifs et les fonctionnalités clés que le système devrait offrir. Cette analyse nous permettra de mieux comprendre les besoins des parties prenantes et de déterminer les caractéristiques essentielles du système.

Ensuite, nous utiliserons le langage de modélisation Unified Modeling Language (UML) pour représenter les différents aspects de notre système. Nous présenterons des diagrammes de cas d'utilisation et des diagrammes de séquences pour illustrer comment les utilisateurs interagissent avec le système et comment les processus se déroulent.

Dans la section suivante, nous détaillerons la conception de la solution blockchain, en examinant les choix de plateformes blockchain et la conception des smart contracts. Cela nous permettra d'explorer les aspects techniques de la solution et de déterminer comment la technologie blockchain peut être appliquée pour répondre aux besoins du système d'enregistrement foncier et immobilier.

Nous aborderons ensuite les questions relatives à la mise en œuvre de la solution blockchain, en discutant des technologies utilisées pour la mise en œuvre et des défis associés. Nous examinerons également les stratégies pour surmonter ces défis et assurer une intégration réussie de la technologie blockchain dans le système d'enregistrement foncier et immobilier.

Enfin, nous explorerons les perspectives d'améliorations futures en identifiant les limitations du système actuel et les possibilités d'amélioration et d'extension du système. Nous conclurons le chapitre en récapitulant l'importance de la conception et de la modélisation, et en

soulignant comment le système proposé pourrait transformer l'enregistrement foncier et immobilier grâce à la technologie blockchain.

2. Analyse des Exigences du Système

2.1. Définition des utilisateurs et de leurs rôles

Dans notre système d'enregistrement foncier et immobilier basé sur la technologie blockchain, nous identifions trois types d'utilisateurs principaux, chacun ayant un rôle spécifique et des responsabilités associées. La description de ces utilisateurs et de leurs rôles respectifs est essentielle pour comprendre le fonctionnement global du système et les interactions entre les différentes parties.

Agence gouvernementale : L'agence gouvernementale est responsable de la supervision et de la gestion du système d'enregistrement foncier et immobilier. Son rôle principal consiste à ajouter des enquêteurs à la plateforme, qui sont chargés de vérifier l'identité des utilisateurs réguliers et la propriété des terrains. L'agence gouvernementale doit s'assurer que les enquêteurs ajoutés à la plateforme sont qualifiés et fiables pour mener à bien leurs missions. L'agence gouvernementale peut également être responsable de la mise à jour des réglementations et des procédures d'enregistrement applicables.

Enquêteurs : Les enquêteurs sont ajoutés à la plateforme par l'agence gouvernementale et ont pour mission de vérifier l'identité des utilisateurs réguliers et la propriété des terrains avant que ces derniers ne puissent être ajoutés à la plateforme. Ils s'assurent que les informations fournies par les utilisateurs réguliers sont exactes et conformes aux réglementations en vigueur. Les enquêteurs jouent un rôle crucial dans la prévention de la fraude et l'amélioration de la confiance dans le système d'enregistrement foncier et immobilier.

Utilisateurs réguliers : Les utilisateurs réguliers sont des personnes ou des entités qui souhaitent enregistrer un terrain ou une propriété sur la plateforme. Ils sont responsables de fournir leurs informations d'identité et de soumettre les détails de leur terrain, accompagnés des preuves nécessaires attestant leur droit de propriété. Les utilisateurs réguliers s'inscrivent sur la plateforme et téléchargent leurs documents d'identité, ainsi que les informations sur le terrain qu'ils souhaitent enregistrer. Une fois que l'enquêteur a vérifié l'identité de l'utilisateur régulier et la propriété du terrain, l'enregistrement peut être ajouté à la blockchain.

En résumé, l'agence gouvernementale est chargée d'ajouter des enquêteurs qualifiés à la plateforme, les enquêteurs vérifient l'identité des utilisateurs réguliers et la propriété des terrains,

et les utilisateurs réguliers s'inscrivent sur la plateforme et soumettent leurs informations et les détails de leur terrain pour enregistrement. Ce processus garantit que toutes les parties prenantes sont impliquées et responsables dans le processus d'enregistrement foncier et immobilier, contribuant ainsi à une meilleure transparence et sécurité du système.

2.2. Définition des fonctionnalités clés

Le système d'enregistrement foncier et immobilier basé sur la technologie blockchain que nous proposons vise à offrir un ensemble de fonctionnalités clés qui répondent aux besoins des différentes parties prenantes et facilitent un processus d'enregistrement plus transparent, sécurisé et efficace. Voici les principales fonctionnalités de notre système :

2.2.1. Inscription et authentification des utilisateurs : Le système permet aux deux types d'utilisateurs (enquêteurs et utilisateurs réguliers) de s'inscrire sur la plateforme et de s'authentifier lors de l'accès aux services. Cette fonctionnalité garantit que seuls les utilisateurs autorisés peuvent interagir avec le système et effectuer les actions qui leur sont assignées.

2.2.2. Ajout et gestion des enquêteurs : L'agence gouvernementale peut ajouter et gérer les enquêteurs sur la plateforme. Cette fonctionnalité permet de s'assurer que les enquêteurs qualifiés sont ajoutés au système et sont disponibles pour vérifier les informations fournies par les utilisateurs réguliers.

2.2.3. Soumission et vérification des informations d'identité et de propriété : Les utilisateurs réguliers peuvent soumettre leurs informations d'identité et les détails de leur terrain, accompagnés des preuves requises. Les enquêteurs sont ensuite chargés de vérifier ces informations et de s'assurer qu'elles sont exactes et conformes aux réglementations en vigueur.

2.2.4. Enregistrement des transactions foncières et immobilières sur la blockchain : Une fois que les informations d'identité et de propriété ont été vérifiées, l'enregistrement du terrain est ajouté à la blockchain. Cette fonctionnalité garantit la traçabilité, la sécurité et la transparence des transactions foncières et immobilières.

2.2.5. Proposition de terrains à la vente : Les utilisateurs réguliers, qui sont les propriétaires de terrains, ont la possibilité de proposer leurs terrains à la vente sur la plateforme. Ils peuvent fournir des détails sur le terrain, y compris l'emplacement, la taille, le prix et toute autre information pertinente pour les acheteurs potentiels.

2.2.6. Information sur les terrains proposés à la vente : La plateforme peut organiser des foires foncières virtuelles, où tous les terrains proposés à la vente sont présentés aux autres utilisateurs. Ces foires foncières permettent aux acheteurs potentiels de découvrir les terrains disponibles et d'entrer en contact avec les vendeurs.

2.2.7. Demande d'achat de terrains : Un utilisateur intéressé par un terrain proposé à la vente peut soumettre une demande d'achat via la plateforme. Cette demande est ensuite transmise au propriétaire du terrain pour examen.

2.2.8. Acceptation ou refus des demandes d'achat : Le propriétaire du terrain a la possibilité d'accepter ou de refuser les demandes d'achat. S'il accepte la demande, un contrat de vente est établi entre l'acheteur et le vendeur.

2.2.9. Transfert de fonds : Lorsqu'une vente est conclue, le système permet le transfert de fonds du portefeuille de l'acheteur au portefeuille du vendeur. Ce transfert est effectué de manière sécurisée et transparente grâce à la technologie blockchain.

2.2.10. Gestion des contrats intelligents : Les contrats intelligents sont utilisés pour automatiser et sécuriser les transactions entre les parties prenantes. Ils peuvent également être utilisés pour déclencher des actions spécifiques en fonction de certaines conditions, comme le transfert de propriété ou la mise à jour des informations d'enregistrement.

Ces fonctionnalités clés sont conçues pour améliorer le processus d'enregistrement foncier et immobilier en offrant un système plus transparent, sécurisé et efficace pour toutes les parties concernées. En intégrant la technologie blockchain, notre système vise à révolutionner la manière dont les transactions foncières et immobilières sont gérées et enregistrées.

3. Modélisation du Système avec UML

3.1. Unified Modeling Language (UML)

Le langage de modélisation unifié (UML) est un langage de modélisation à usage général. Le principal objectif de l'UML est de définir une manière standard de visualiser la façon dont un système a été conçu. Il est assez similaire aux plans utilisés dans d'autres domaines de l'ingénierie.

L'UML n'est pas un langage de programmation, c'est plutôt un langage visuel. Nous utilisons des diagrammes UML pour décrire le comportement et la structure d'un système. L'UML aide les ingénieurs en logiciel, les hommes d'affaires et les architectes de systèmes dans la modélisation, la conception et l'analyse. Le groupe de gestion d'objets (OMG) a adopté le langage de modélisation unifié comme norme en 1997. Il est géré par OMG depuis lors. L'Organisation internationale de normalisation (ISO) a publié l'UML en tant que norme approuvée en 2005. L'UML a été révisé au fil des ans et est régulièrement examiné.[45]

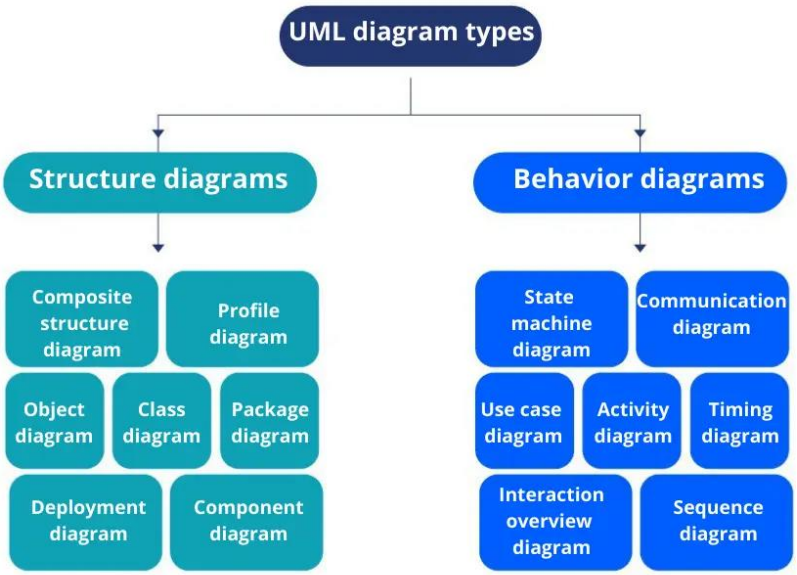

Figure 14 : Les types de diagrammes UML.

3.2. Identification des besoins

Dans cette section, nous identifierons les besoins spécifiques de notre système d'enregistrement foncier et immobilier basé sur la technologie blockchain. Ces besoins peuvent être classés en besoins fonctionnels et non fonctionnels.

3.2.1. Besoins fonctionnels : Les besoins fonctionnels décrivent ce que le système doit faire. Pour notre système, ces besoins comprennent :

- Inscription et authentification des utilisateurs
- Ajout et gestion des enquêteurs par l'agence gouvernementale
- Soumission et vérification des informations d'identité et de propriété
- Enregistrement des transactions foncières et immobilières sur la blockchain
- Proposition de terrains à la vente par les utilisateurs réguliers
- Information sur les terrains proposés à la vente lors de foires foncières
- Soumission de demandes d'achat de terrains
- Acceptation ou refus des demandes d'achat par le propriétaire du terrain
- Transfert de fonds entre l'acheteur et le vendeur lors de la vente

3.2.2. Besoins non fonctionnels : Les besoins non fonctionnels décrivent comment le système doit être, ou les propriétés que le système doit avoir. Pour notre système, ces besoins comprennent :

- **Traçabilité :** Les transactions doivent être enregistrées de manière sécurisée et transparente sur la blockchain, permettant une traçabilité complète.
- **Sécurité :** Le système doit garantir la sécurité des informations et des transactions, avec des données immuables et des informations qui peuvent être récupérées de manière chronologique.
- **Performance :** Le système doit être capable de répondre efficacement aux exigences des utilisateurs et de traiter les transactions de manière optimale.
- **Utilisabilité :** Le système doit offrir une interface utilisateur simple et intuitive, pour faciliter son utilisation par les différentes parties prenantes.
- **Scalabilité :** Le système doit être capable de s'adapter et d'augmenter sa capacité de traitement, de stockage et de transmission à mesure que le nombre d'utilisateurs et de transactions augmente.

En identifiant ces besoins, nous pouvons nous assurer que notre système répondra aux attentes et aux exigences des utilisateurs et des parties prenantes, tout en offrant une solution efficace, sécurisée et transparente pour l'enregistrement foncier et immobilier.

3.3. Diagramme de cas d'utilisation UML

Un diagramme de cas d'utilisation est utilisé pour représenter le comportement dynamique d'un système. Il encapsule les fonctionnalités du système en intégrant des cas d'utilisation, des acteurs et leurs relations. Il modélise les tâches, les services et les fonctions requis par un système/sous-système d'une application. Il dépeint la fonctionnalité de haut niveau d'un système et explique également comment l'utilisateur manipule un système.[46]

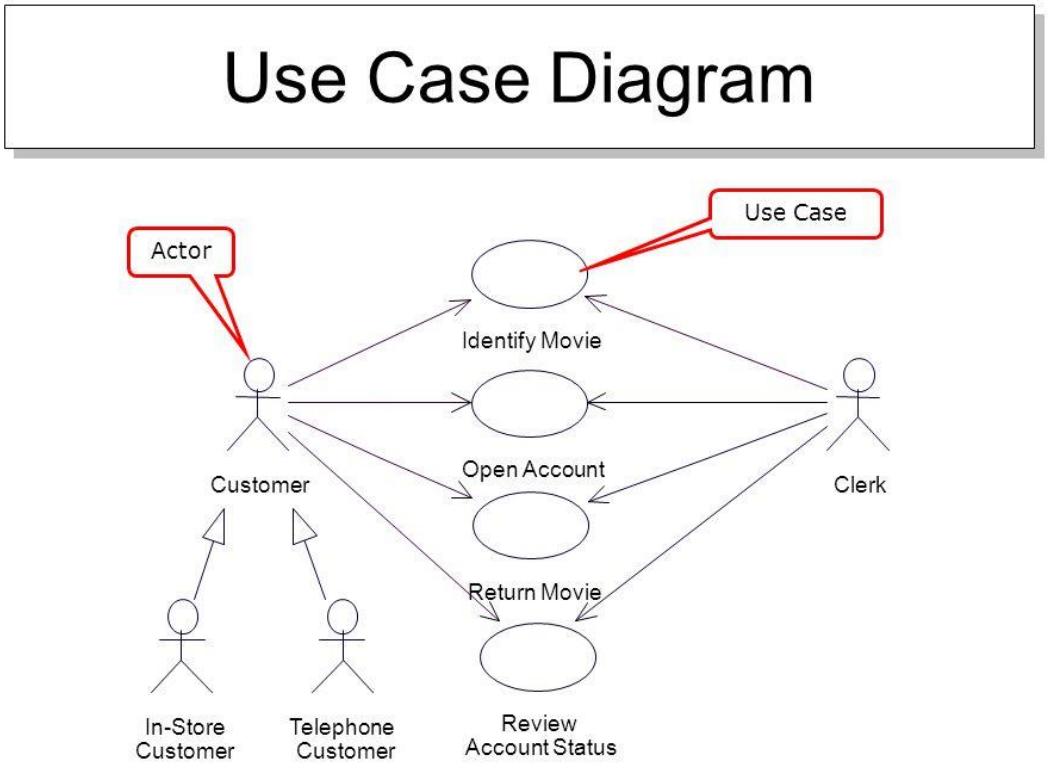

Figure 15 : Exemple de cas d'utilisation.

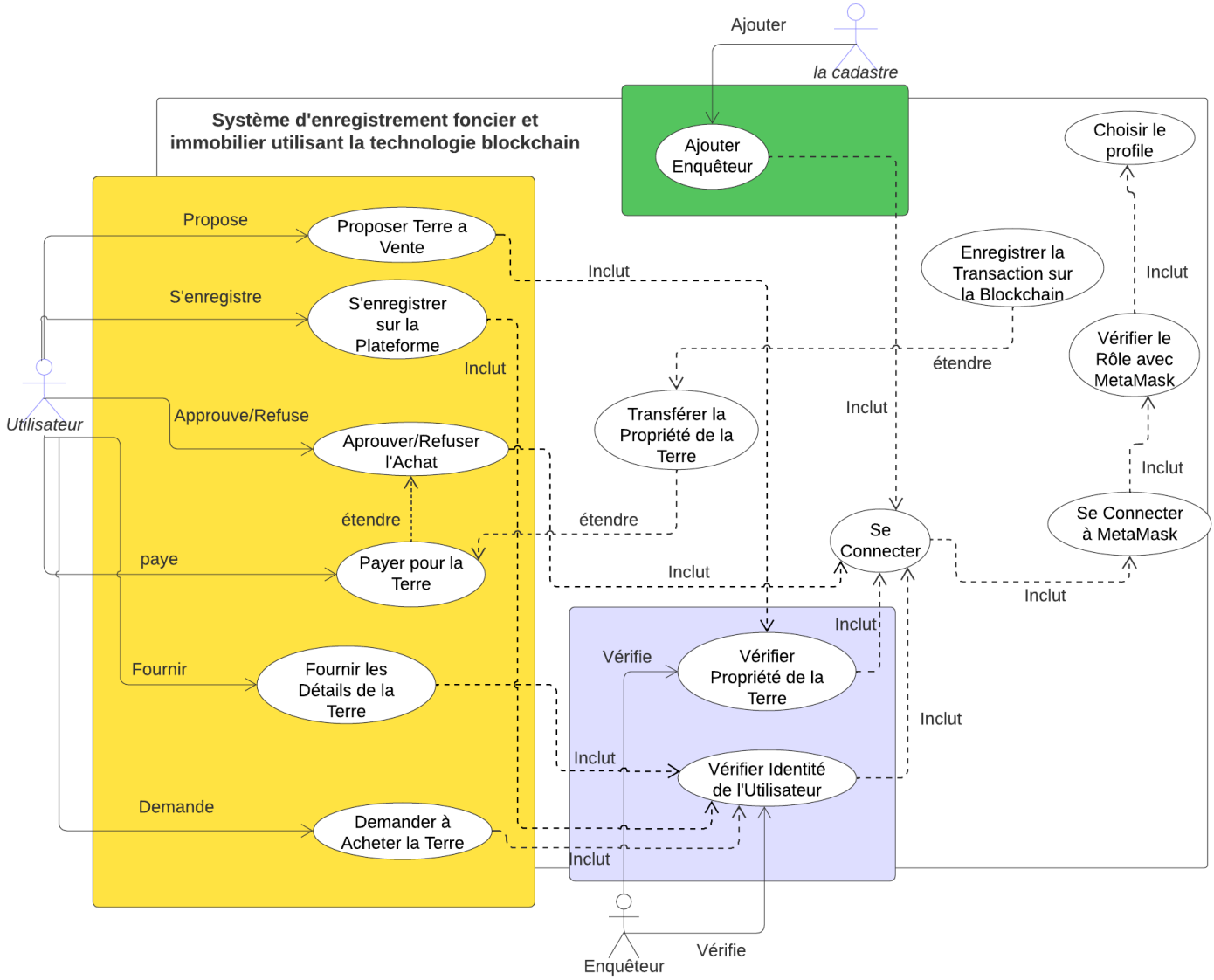

Figure 16 :Diagramme UML de Cas utilisation pour un système d'enregistrement foncier.

3.3.1. But des diagrammes de cas d'utilisation

Le but principal d'un diagramme de cas d'utilisation est de dépeindre l'aspect dynamique d'un système. Il recueille les exigences du système, qui incluent à la fois les influences internes et externes. Il fait intervenir des personnes, des cas d'utilisation, et plusieurs éléments qui invoquent les acteurs et les éléments responsables de la mise en œuvre des diagrammes de cas d'utilisation. Il représente comment une entité provenant de l'environnement externe peut interagir avec une partie du système.[46]

Voici les objectifs d'un diagramme de cas d'utilisation :

- Il recueille les besoins du système.

- Il représente la vue externe du système.
- Il identifie les facteurs internes et externes qui influencent le système.
- Il représente l'interaction entre les acteurs.

3.3.2. Description textuelle

CUI : Se Connecter
Résumé : Ce cas d'utilisation permet à l'acteur de se connecter à la plateforme.
Acteurs : Agence Gouvernementale, Enquêteur, Utilisateur
Précondition : L'acteur possède un profil sur la plateforme.
Post-Condition : L'acteur est authentifié.
DESCRIPTION DU SCENARIO NOMINAL • Le système invite l'acteur à entrer son identifiant • L'acteur saisit l'identifiant et le mot de passe et valide. • Le système vérifie les paramètres. • Le système ouvre la page principale correspondant au rôle de l'acteur.
CUI : Proposer la Terre à la Vente
Résumé : Ce cas d'utilisation permet à l'utilisateur de proposer un terrain à la vente sur la plateforme.
Acteurs : Utilisateur
Précondition : L'utilisateur est authentifié et a vérifié la propriété du terrain.
Post-Condition : Le terrain est proposé à la vente sur la plateforme.
DESCRIPTION DU SCENARIO NOMINAL • Le système invite l'utilisateur à entrer les détails du terrain. • L'utilisateur entre les détails du terrain et valide. • Le système vérifie les informations et confirme que l'utilisateur possède le terrain. • Le système ajoute le terrain à la liste des terrains disponibles à la vente sur la plateforme.
CUI : Ajouter Enquêteur
Résumé : Ce cas d'utilisation permet à l'agence gouvernementale d'ajouter un enquêteur à la plateforme.
Acteurs : Agence Gouvernementale.
Précondition : L'agence gouvernementale est authentifiée.
Post-Condition : Un nouvel enquêteur est ajouté à la plateforme.
DESCRIPTION DU SCENARIO NOMINAL • Le système invite l'agence gouvernementale à entrer les informations de l'enquêteur. • L'agence gouvernementale entre les informations de l'enquêteur et valide. • Le système enregistre l'enquêteur dans la plateforme.
CUI : Vérifier Identité de l'Utilisateur
Résumé : Ce cas d'utilisation permet à l'enquêteur de vérifier l'identité de l'utilisateur

Acteurs : Enquêteur.
Précondition : L'enquêteur est authentifié.
Post-Condition : L'identité de l'utilisateur est vérifiée.
DESCRIPTION DU SCENARIO NOMINAL • Le système fournit à l'enquêteur les informations de l'utilisateur à vérifier. • L'enquêteur examine les informations et valide l'identité de l'utilisateur.
CUI : Vérifier Propriété de la Terre
Résumé : Ce cas d'utilisation permet à l'enquêteur de vérifier la propriété d'un terrain.
Acteurs : Enquêteur.
Précondition : L'enquêteur est authentifié.
Post-Condition : La propriété du terrain est vérifiée.
DESCRIPTION DU SCENARIO NOMINAL • Le système fournit à l'enquêteur les informations du terrain à vérifier. • L'enquêteur examine les informations et valide la propriété du terrain.
CUI : S'enregistrer sur la Plateforme
Résumé : Ce cas d'utilisation permet à l'utilisateur régulier/acheteur de s'enregistrer sur la plateforme.
Acteurs : Utilisateur Régulier/Acheteur.
Précondition : L'utilisateur possède une identité à vérifier.
Post-Condition : L'utilisateur est enregistré sur la plateforme.
DESCRIPTION DU SCENARIO NOMINAL • Le système invite l'utilisateur à fournir ses informations personnelles et à télécharger sa preuve d'identité. • L'utilisateur fournit ses informations et télécharge sa preuve d'identité, puis valide. • Le système enregistre l'utilisateur dans la plateforme.

Table 1 : Scénario des cas d'utilisation.

3.4. Diagrammes de séquences

Un diagramme de séquence UML, également appelé diagramme de séquence, est un type de diagramme de comportement qui montre la façon dont les processus s'exécutent avec les objets dans un système. Les diagrammes de séquence sont utilisés pour décrire les interactions entre les acteurs et le système, ainsi que pour décrire le comportement des objets dans le système. Les diagrammes de séquence montrent l'ordre dans lequel les messages sont envoyés et reçus entre les objets d'un système. Ils peuvent être utilisés pour modéliser les scénarios d'utilisation et pour tester et valider les conceptions de systèmes logiciels. Les diagrammes de séquence sont également utiles pour comprendre la manière dont les différents objets du système interagissent les uns avec les autres et pour identifier les points faibles potentiels dans la conception du système[47]

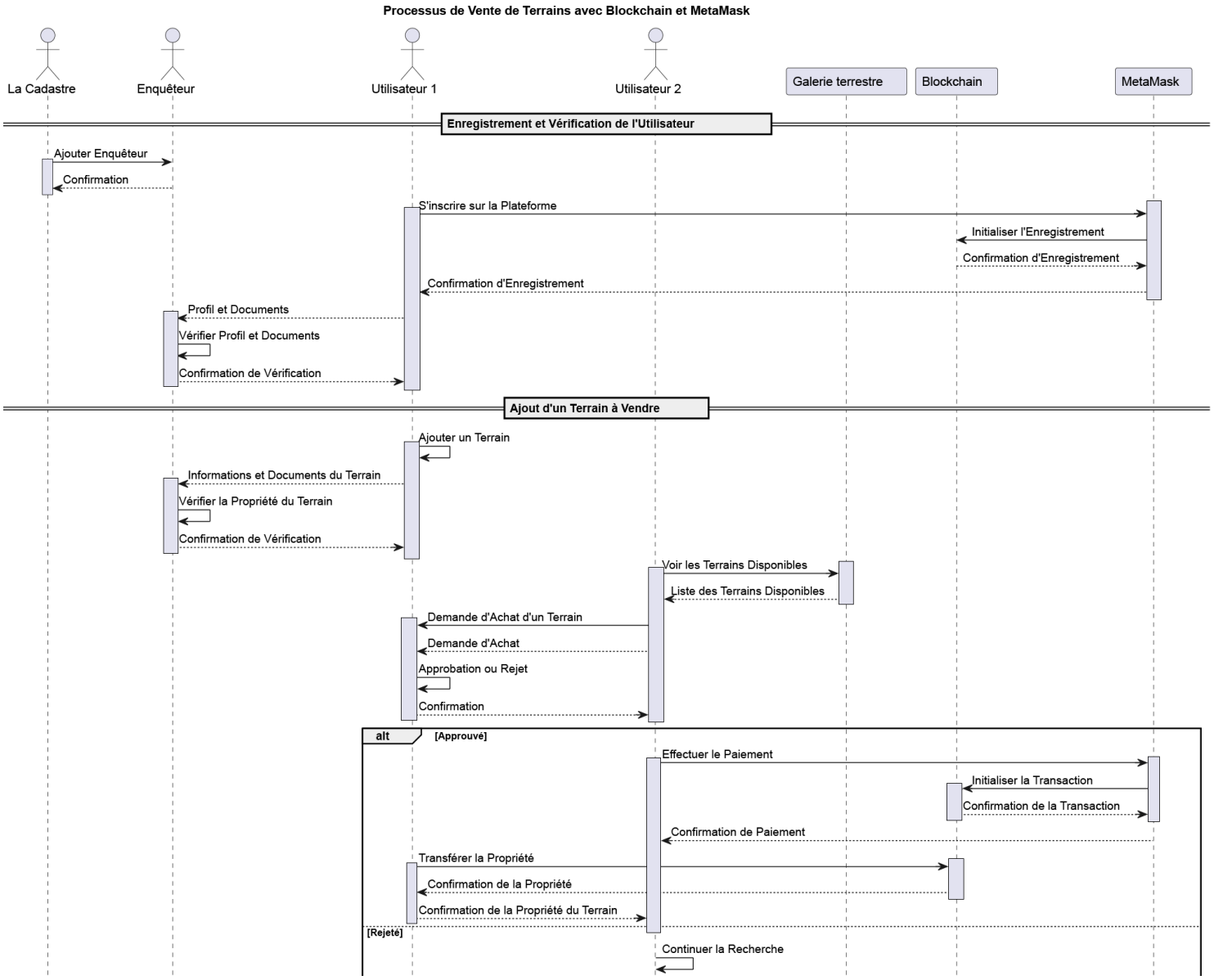

Figure 17 : Diagramme UML de séquence pour un système d'enregistrement foncier.

4. Conception de la Solution Blockchain

4.1. Choix de la plateforme blockchain

Parmi les différentes plateformes blockchain disponibles, Ethereum s'impose comme un choix populaire et judicieux pour les entreprises. En effet, avec un plus grand nombre de développeurs que toute autre blockchain, la plateforme Ethereum est de plus en plus adoptée par

des entreprises majeures et constitue la base de plusieurs projets blockchain d'une valeur de plusieurs milliards de dollars.

Tout d'abord, Ethereum est l'une des plateformes de blockchain les plus populaires, avec une grande communauté de développeurs et d'utilisateurs. Cela signifie qu'il y a une grande quantité de documentation et de support en ligne disponible pour ceux qui travaillent avec cette plateforme, ce qui facilite le développement

De plus, Ethereum est conçu pour être une plateforme de développement d'applications décentralisées (dApps). Cela signifie qu'il offre des fonctionnalités avancées pour la création de contrats intelligents, qui sont des programmes autonomes qui peuvent être exécutés sur la blockchain. Les contrats intelligents permettent de créer des règles et des procédures pour les transactions foncières, ce qui réduit les risques d'erreurs humaines et de fraude.

Ethereum est également connu pour sa flexibilité et sa capacité à prendre en charge une grande variété de projets, grâce à l'utilisation de langages de programmation tels que Solidity. Cela signifie que les développeurs peuvent créer des applications personnalisées pour répondre aux besoins spécifiques de leur projet d'enregistrement foncier.

Enfin, Ethereum offre également une grande sécurité grâce à son système de consensus de preuve de travail. Ce système garantit que toutes les transactions sont vérifiées et confirmées par les nœuds de la blockchain, ce qui réduit les risques de piratage et de fraude.

Dans l'ensemble, nous choision Ethereum pour mon programme d'enregistrement foncier en raison de sa popularité, de sa capacité à prendre en charge des contrats intelligents avancés, de sa flexibilité et de sa grande sécurité.[48]

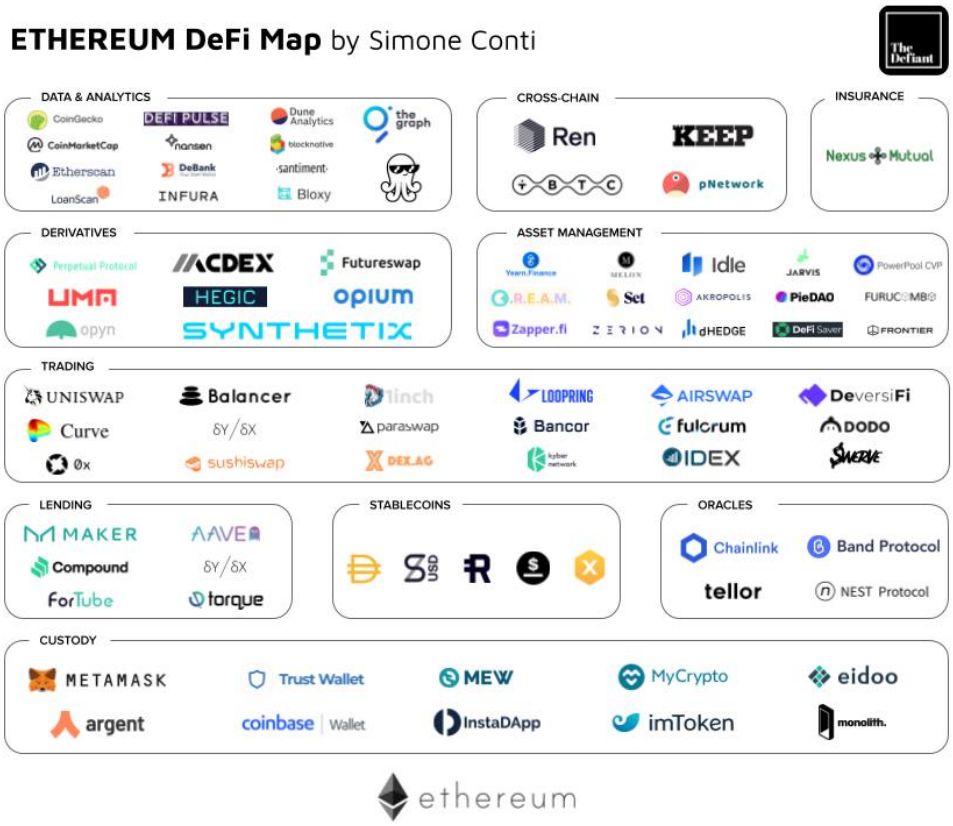

Figure 18 : Carte DeFi Ethereum.

5. Conception des Smart Contracts

La conception des smart contracts est une étape cruciale dans le développement du système d'enregistrement foncier et immobilier basé sur la technologie blockchain. Les smart contracts sont des programmes autonomes déployés sur une blockchain qui exécutent automatiquement les conditions d'un accord entre les parties, assurant ainsi une transparence, une sécurité et une traçabilité accrues.

Dans le cadre de notre système, le smart contract est responsable de gérer les informations sur les utilisateurs, les terres, les demandes d'achat et les transactions. Plusieurs structures de données ont été définies pour représenter ces éléments, notamment les structures User, Land, PurchaseRequest, PurchaseRequestWithStatus, PurchaseRequestWithLandAndStatus et LandWithPurchaseRequests. Chacune de ces structures stocke des informations spécifiques et pertinentes pour leurs domaines respectifs, telles que les détails de l'utilisateur, les caractéristiques de la propriété, et les demandes d'achat en cours.

L'enum PurchaseRequestStatus a été créé pour suivre les différents états d'une demande d'achat : en attente, acceptée et rejetée. Des mappings ont également été définis pour faciliter l'accès aux informations stockées dans les structures, permettant ainsi une récupération rapide et efficace des données.

Le smart contract inclut également un ensemble de fonctions pour gérer les différentes actions possibles dans le système, telles que l'enregistrement des utilisateurs et des investigateurs, la confirmation des profils, l'ajout et la vérification des terres, la vente et l'achat de terres, et la gestion des demandes d'achat. Ces fonctions garantissent que toutes les interactions entre les parties sont sécurisées, transparentes et traçables.

En somme, la conception des smart contracts dans notre système d'enregistrement foncier et immobilier basé sur la technologie blockchain est cruciale pour assurer la fiabilité, la sécurité et la transparence des transactions et des échanges d'informations entre les parties impliquées.

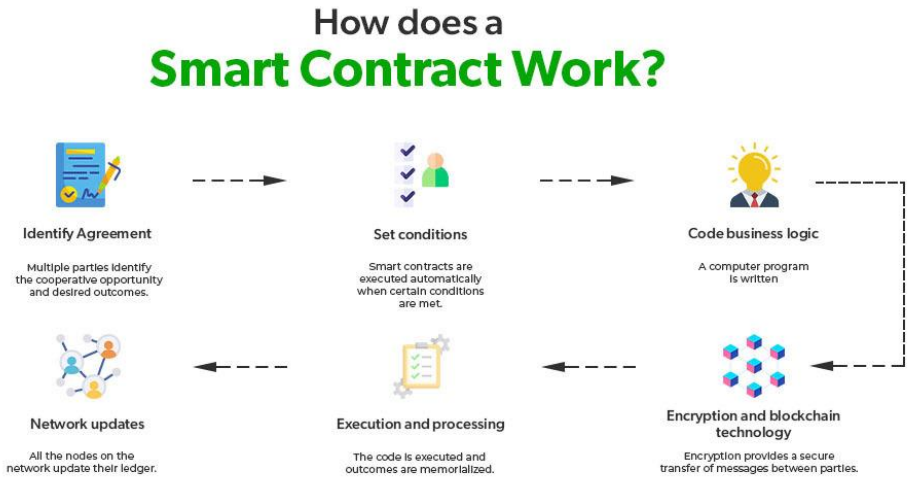

Figure 19 : Schéma expliquant comment fonctionne un contrat intelligent.

6. Défis de la mise en œuvre et comment les surmonter

La mise en œuvre d'un système d'enregistrement foncier et immobilier basé sur la technologie blockchain présente plusieurs défis. Cependant, en adoptant des approches stratégiques et en tirant parti des technologies appropriées, il est possible de surmonter ces obstacles.

- Adoption et acceptation par les utilisateurs : L'un des principaux défis est d'amener les utilisateurs, les autorités foncières et les parties prenantes à adopter et à accepter ce

nouveau système. Pour y parvenir, il est essentiel de mener des campagnes de sensibilisation et de formation afin de souligner les avantages et la fiabilité du système. De plus, l'interopérabilité avec les systèmes existants doit être assurée pour faciliter la transition.

- Questions de confidentialité et de sécurité : La protection des données sensibles et la garantie de la sécurité des transactions sont cruciales. Pour relever ce défi, il est important d'utiliser des protocoles de chiffrement robustes et de mettre en œuvre des mécanismes d'authentification solides pour les utilisateurs et les transactions.

- Interopérabilité entre les blockchains et les systèmes existants : Pour assurer la compatibilité et la communication entre différentes plateformes, il est essentiel de mettre en place des normes et des protocoles d'interopérabilité. Des initiatives telles que les ponts entre les blockchains et les API ouvertes peuvent aider à faciliter l'interopérabilité et l'intégration.

- Réglementation et conformité : Les systèmes basés sur la technologie blockchain peuvent être soumis à des réglementations et des exigences de conformité spécifiques en fonction des juridictions. Pour surmonter ce défi, il est important de travailler en étroite collaboration avec les autorités réglementaires et de respecter les lois et régulations locales en matière de protection des données, de transactions immobilières et de technologie blockchain.

En abordant ces défis de manière proactive et en adoptant des solutions technologiques appropriées, il est possible de créer un système d'enregistrement foncier et immobilier basé sur la technologie blockchain qui transforme le secteur et offre de nombreux avantages en termes de sécurité, de traçabilité et d'efficacité.

7. Conclusion

En conclusion, le chapitre 4 a abordé en profondeur la conception et la modélisation d'un système d'enregistrement foncier et immobilier basé sur la technologie blockchain. Au travers des différentes sections, nous avons analysé les exigences du système, défini les rôles des utilisateurs et les fonctionnalités clés, et utilisé des diagrammes UML pour modéliser le système de manière cohérente et structurée.

Le choix de la plateforme blockchain et la conception des smart contracts ont été détaillés, mettant en évidence l'importance de ces éléments pour assurer un système transparent, sécurisé et efficace. La mise en œuvre de la solution blockchain a été explorée, en présentant les technologies utilisées et en discutant des défis rencontrés lors de la mise en œuvre et des stratégies pour les surmonter.

Ce chapitre a montré comment le système proposé pourrait transformer l'enregistrement foncier et immobilier grâce à la technologie blockchain. En adoptant une approche méthodique et en exploitant les avantages de la blockchain, il est possible de créer un système qui améliore considérablement la gestion des registres fonciers et immobiliers en termes de transparence, de sécurité et d'efficacité. Cette solution innovante ouvre la voie à de nouvelles perspectives pour la gestion des biens immobiliers et fonciers, en offrant une plateforme qui répond aux besoins et aux attentes des parties prenantes concernées

Chapitre 05

Réalisation d'une Application Blockchain pour l'Enregistrement Foncier et Immobilier

1. Introduction

Dans ce chapitre, nous nous focalisons sur la réalisation d'une application blockchain pour l'enregistrement foncier et immobilier. Nous explorerons d'abord les outils et les langages utilisés pour développer notre application. Ensuite, nous discuterons la configuration de l'environnement de développement, incluant l'installation de Flutter et Dart et la configuration de Truffle. Nous présenterons également les différentes interfaces de développement créées pour l'application. Enfin, nous conclurons en mettant en évidence l'importance de la blockchain dans le secteur immobilier et foncier

2. Outils de développement et langages utilisés

La mise en œuvre du système d'enregistrement foncier et immobilier basé sur la technologie blockchain nécessite l'utilisation de diverses technologies pour assurer le bon fonctionnement, la sécurité et la performance du système. Dans cette section, nous discutons des principales technologies utilisées pour déployer et gérer notre solution blockchain.

2.1. Plateforme blockchain : Ethereum est choisi comme plateforme blockchain pour déployer notre smart contract. Ethereum est une blockchain avec un ordinateur intégré, qui forme la base pour créer des applications et des organisations de manière décentralisée, sans autorisation et résistante à la censure. L'Ethereum Virtual Machine (EVM) est au cœur d'Ethereum et permet la gestion des smart contracts.[49]

2.2. Environnement de développement : Truffle est un environnement de développement, un framework de test et un pipeline d'actifs pour les blockchains utilisant l'EVM. Il facilite le développement, la compilation, le déploiement et la gestion des smart contracts. Ganache, un simulateur de réseau Ethereum local, est également utilisé pour faciliter les tests et le développement du smart contract.[50]

Remarque : Il est nécessaire d'installer NodeJS sur la machine, puis Truffle par la commande suivante : npm install -g truffle.

2.3. Interface utilisateur : Flutter et Dart sont utilisés pour la conception de l'interface utilisateur et la communication avec le smart contract. Dart est un langage de programmation optimisé pour le client, offrant une expérience de développement rapide et multiplateforme. Flutter est un framework d'interface utilisateur qui permet de créer des applications natives pour diverses plates-formes à l'aide de Dart.

2.4. Wallet : MetaMask est un portefeuille crypto virtuel utilisé pour effectuer des transactions, stocker et gérer des crypto-monnaies et des jetons. Il permet d'accéder au Web3 et de se connecter à divers projets blockchain tels que les jeux, les applications et les échanges décentralisés. MetaMask assure la sécurité des données et protège contre les pirates et les escrocs.[51]

2.5. Stockage décentralisé : IPFS est un protocole et un réseau peer-to-peer qui permettent le stockage et le partage de données décentralisées. Pour assurer la disponibilité permanente et la fiabilité des images et des documents stockés sur IPFS, nous utilisons Pinata, un service de pinning spécialisé pour IPFS. Pinata maintient les données "épinglées" disponibles sur le réseau IPFS même lorsque les nœuds locaux sont déconnectés ou lorsque le cache des nœuds devient plein et que le processus de collecte des ordures a lieu. En utilisant Pinata pour épingler les images et les documents, nous garantissons que ces données restent accessibles et sécurisées sur le réseau IPFS, sans avoir à nous soucier de la maintenance et de la surveillance des nœuds IPFS.

Grâce à cette combinaison d'IPFS et de Pinata, notre système d'enregistrement foncier et immobilier basé sur la technologie blockchain offre un stockage décentralisé, sécurisé et fiable pour les images et les documents relatifs aux propriétés, renforçant ainsi la traçabilité et la sécurité des transactions et des données.[52]

2.6. Langage de programmation des smart contracts : Solidity est le langage de programmation utilisé pour écrire le smart contract. Solidity est un langage orienté objet, conçu spécifiquement pour la création de smart contracts sur la plateforme Ethereum. Il permet de définir des structures, des fonctions et des événements pour gérer la logique et les données du contrat.[53]

Figure 20 : Logo de langue Solidité

2.7. NodeJS : NodeJS est un environnement d'exécution open-source et multiplateforme basé sur le moteur JavaScript V8 de Chrome, permettant d'exécuter du code JavaScript en dehors d'un navigateur. Il est important de se rappeler que NodeJS n'est pas un

framework et ce n'est pas un langage de programmation. Il fournit un environnement d'exécution événementiel, non bloquant (asynchrone) et multiplateforme pour créer des applications côté serveur hautement évolutives en utilisant JavaScript. Beaucoup de gens sont confus et pensent que c'est un framework ou un langage de programmation. Nous utilisons souvent Node.js pour construire des services back-end tels que des API, des applications Web ou des applications mobiles. Il est utilisé en production par de grandes entreprises telles que Paypal, Uber, Netflix, Walmart, etc.[54]

2.8. Remix IDE : Remix IDE est utilisé pour l'ensemble du processus de développement de contrats intelligents par des utilisateurs de tous niveaux de connaissance. Il ne nécessite aucune configuration, favorise un cycle de développement rapide et dispose d'un riche ensemble de plugins avec des interfaces graphiques intuitives. L'IDE se décline en deux versions (application Web ou application de bureau) et en tant qu'extension VSCode.[55]

Remix IDE en ligne, voir : https://remix.ethereum.org
Navigateurs pris en charge : Firefox, Chrome, Brave. L'utilisation de Remix sur les tablettes ou les appareils mobiles n'est pas prise en charge.

2.9. Web3.dart : Web3.dart est une bibliothèque Dart permettant d'interagir avec la blockchain Ethereum. Elle facilite l'accès aux fonctionnalités Ethereum et aux contrats intelligents directement depuis des applications Dart. La bibliothèque offre une interface haut niveau pour communiquer avec les nœuds Ethereum via JSON-RPC, pour gérer les comptes et pour signer des transactions. Web3.dart est particulièrement utile pour les développeurs d'applications mobiles et web, car elle permet l'intégration d'Ethereum dans des projets Flutter et Angular Dart. Elle est largement adoptée pour créer des dApps (applications décentralisées) et interagir avec des contrats intelligents sur la plateforme Ethereum.[56]

Ces technologies clés, combinées à d'autres outils et bibliothèques, permettent la mise en œuvre réussie de notre système d'enregistrement foncier et immobilier basé sur la technologie blockchain, en assurant la sécurité, la décentralisation et la traçabilité des transactions et des données.

3. Présentation des interfaces de développement

3.1. L'interface "Pré-login"

L'interface "Pré-login" est composée de trois boutons principaux : un pour les utilisateurs réguliers, un pour les enquêteurs et un autre pour l'agence gouvernementale. Avant de pouvoir accéder à la plateforme, l'utilisateur doit passer par une étape d'authentification pour garantir la sécurité et la fiabilité du processus.

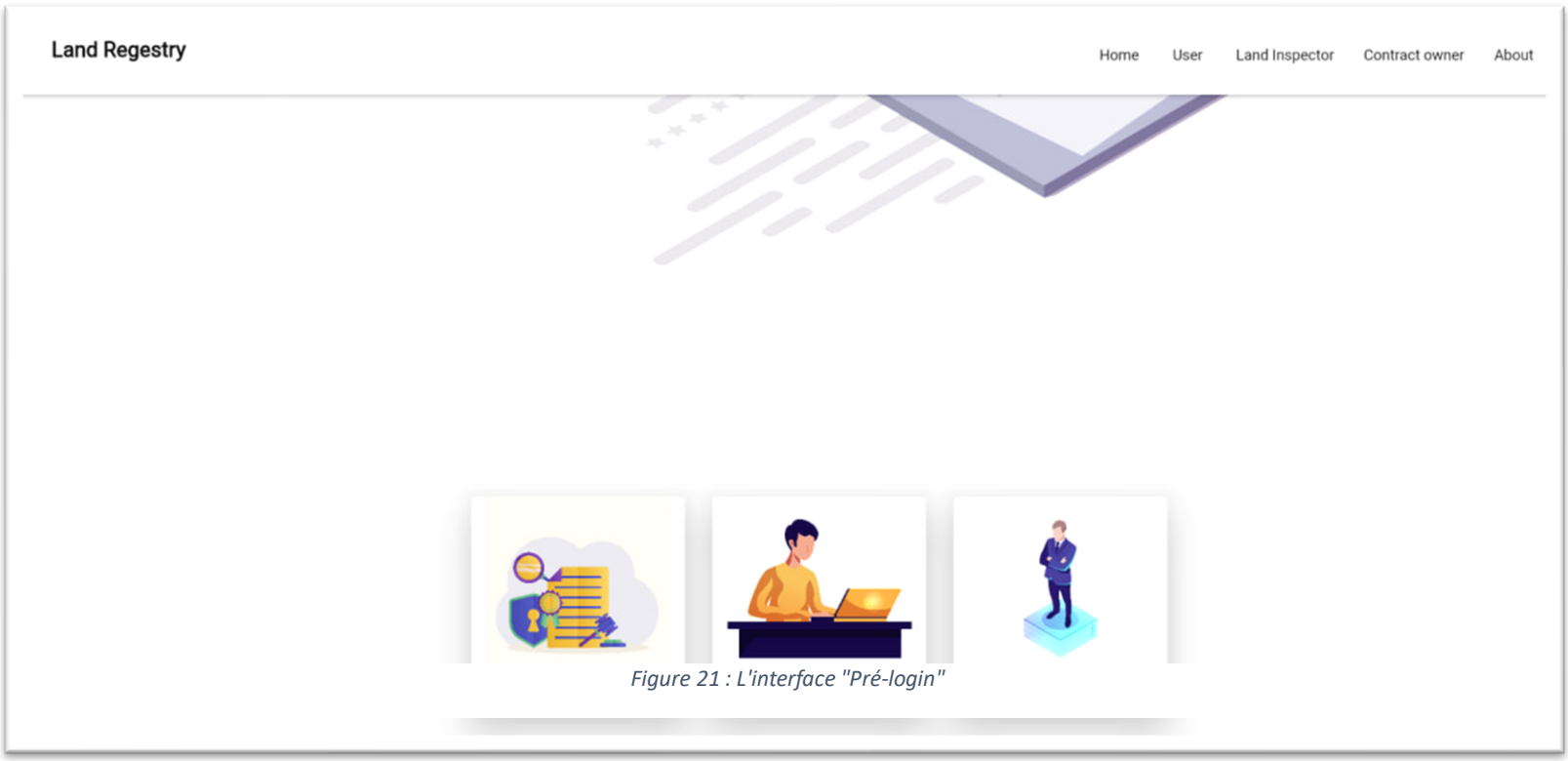

Figure 21 : L'interface "Pré-login"

Figure 21: L'interface " Pré-login "

3.2. L'interface "login"

L'interface "Login" permet à l'utilisateur d'accéder à la plateforme en se connectant au réseau blockchain via l'icône METAMASK. En fonction du type d'utilisateur, l'interface graphique suivante s'affiche. Pour les utilisateurs réguliers, l'interface correspondante apparaît, tandis que pour les enquêteurs et les agences gouvernementales, des interfaces spécifiques sont proposées. Cette interface assure un accès sécurisé et personnalisé à la plateforme pour chaque type d'utilisateur.

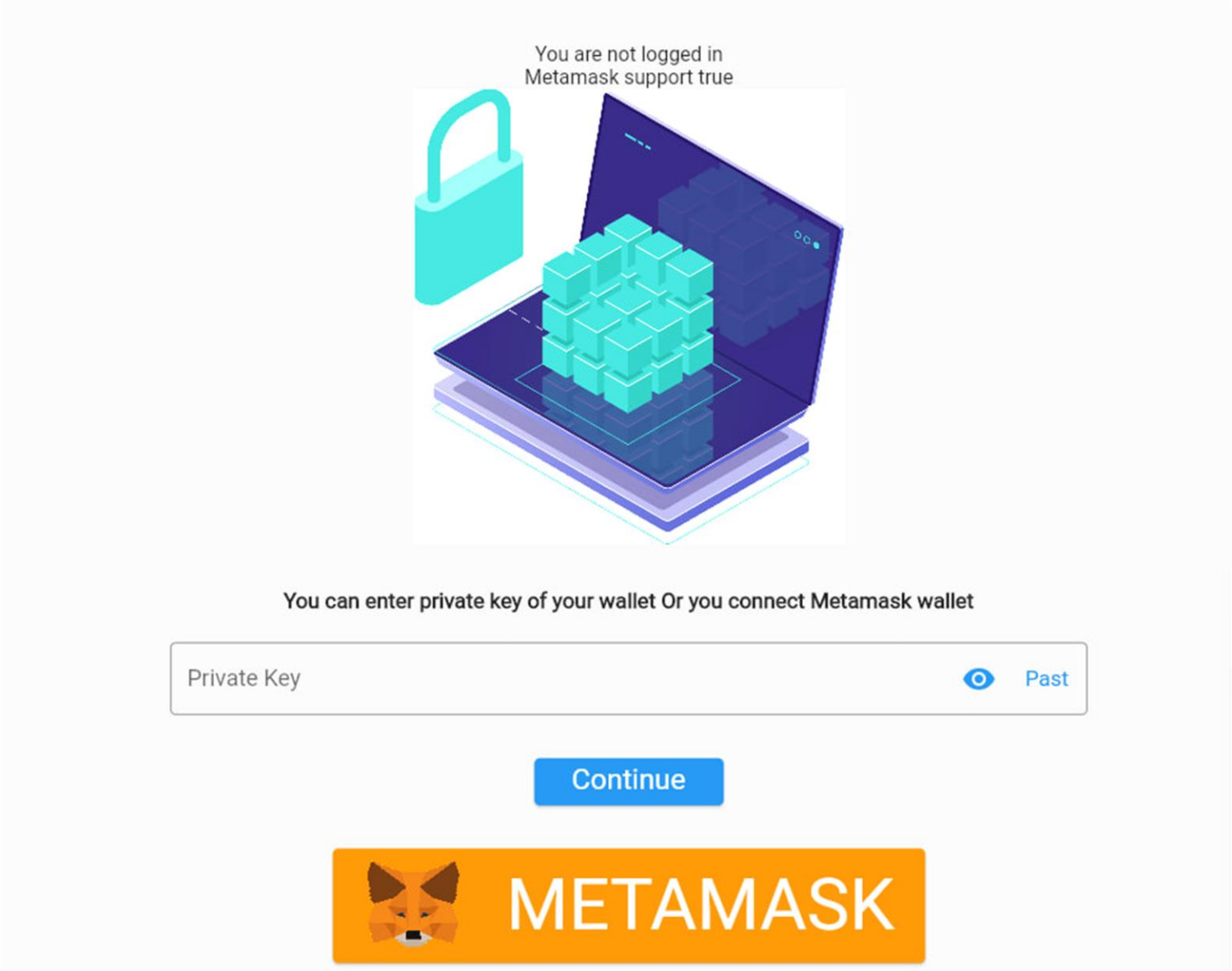

Figure 22 : L'interface "login"

3.3. L'interface " metamask "

Après que l'utilisateur a cliqué sur l'icône "metamask", l'interface de l'extension de navigateur "metamask" lui apparaît directement pour confirmer le processus de connexion. Où l'utilisateur doit se connecter à son wallet sur metamask Ce compte représente un véritable wallet pour cet utilisateur qui contient son solde et d'autres informations sur le réseau blockchain qu'il utilise.

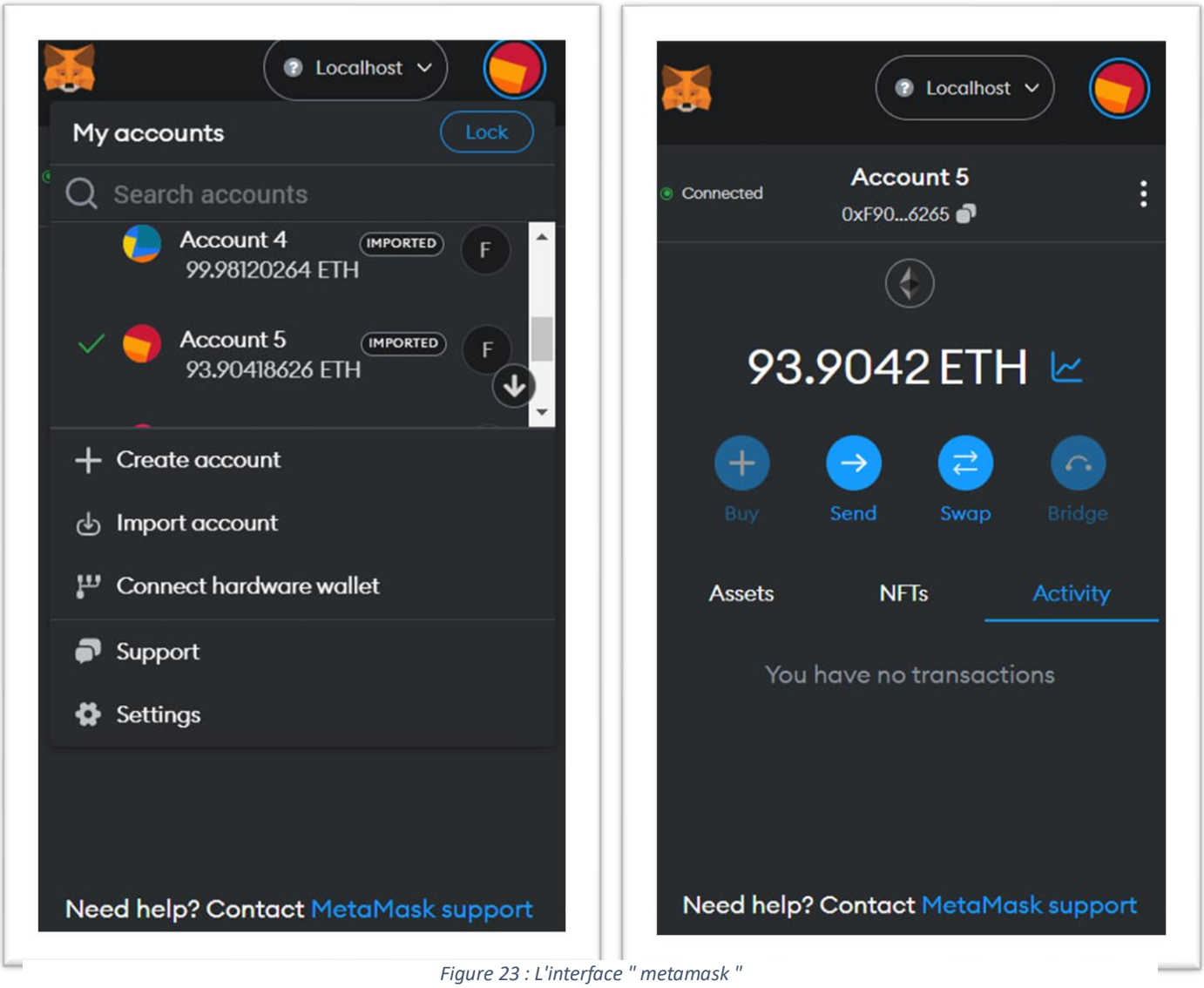

Figure 23 : L'interface " metamask "

3.4. L'interface " Contract Owner – Add Land Inspector"

Après avoir vérifié l'identité de l'utilisateur et confirmé qu'il s'agit d'une agence gouvernementale, l'interface "Contract Owner" s'affiche. Cette interface comprend deux boutons : "Add land Inspector" et "All land Inspector". En cliquant sur "Ajouter un enquêteur", l'agence gouvernementale peut enregistrer un nouvel enquêteur en entrant son nom complet, son âge, la ville où il vit, son numéro de téléphone, son numéro d'identification et l'adresse de son portefeuille. Une fois les informations saisies, l'agence gouvernementale doit cliquer sur le bouton

"Ajouter" pour enregistrer le nouvel enquêteur. Cette interface garantit un processus transparent et fiable pour l'ajout d'un nouvel enquêteur dans le réseau blockchain.

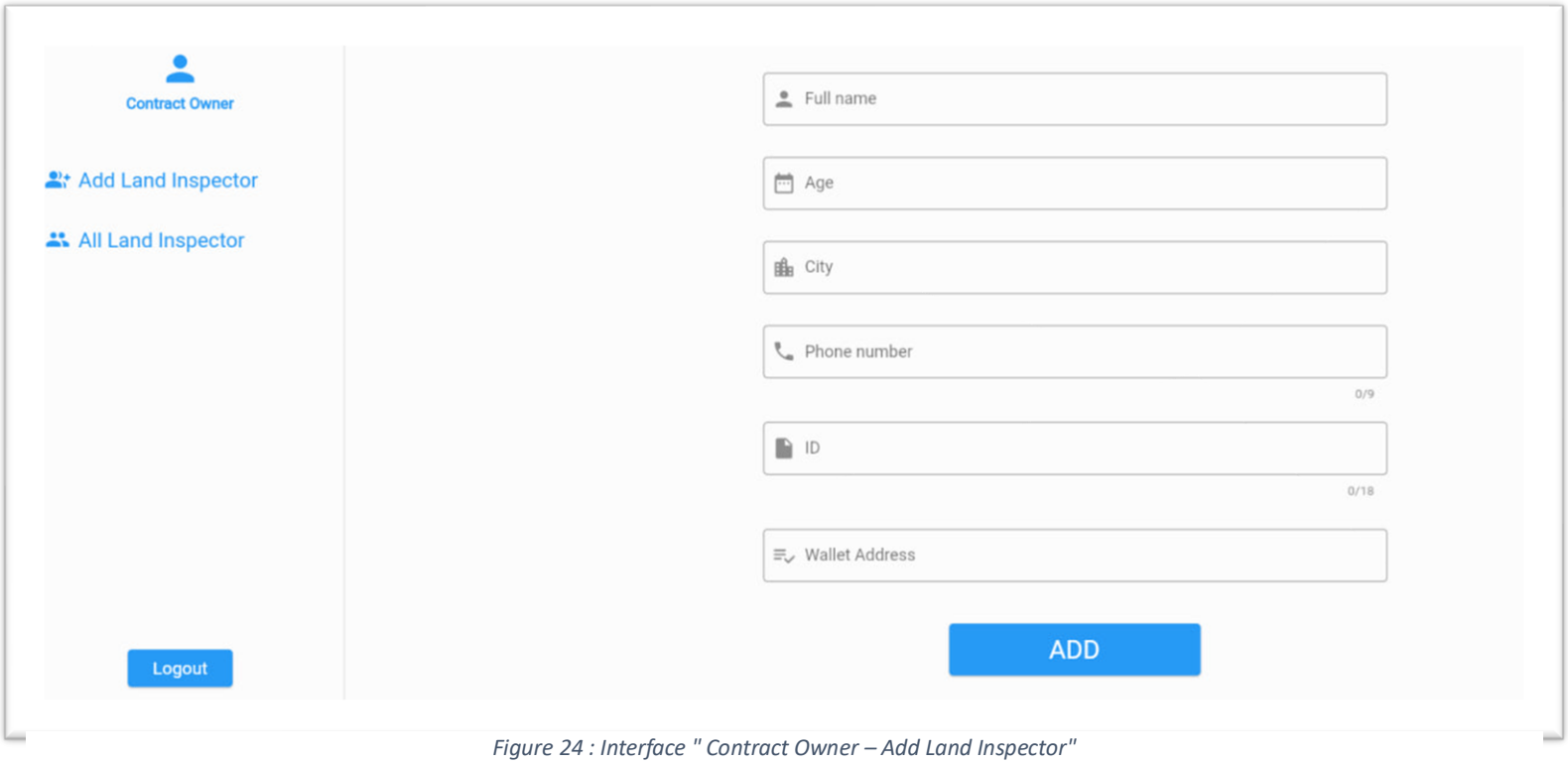

Figure 24 : Interface " Contract Owner – Add Land Inspector"

3.5. L'interface " All Land Inspector "

En cliquant sur le bouton "Tous les enquêteurs" dans l'interface "Contract owner", une liste de tous les enquêteurs enregistrés dans le réseau blockchain s'affiche. Cette interface permet à l'agence gouvernementale d'accéder à la liste complète des enquêteurs et de vérifier leur identité. L'interface "All Land Inspector" assure la transparence et la fiabilité du processus d'ajout et de gestion des enquêteurs dans le réseau blockchain.

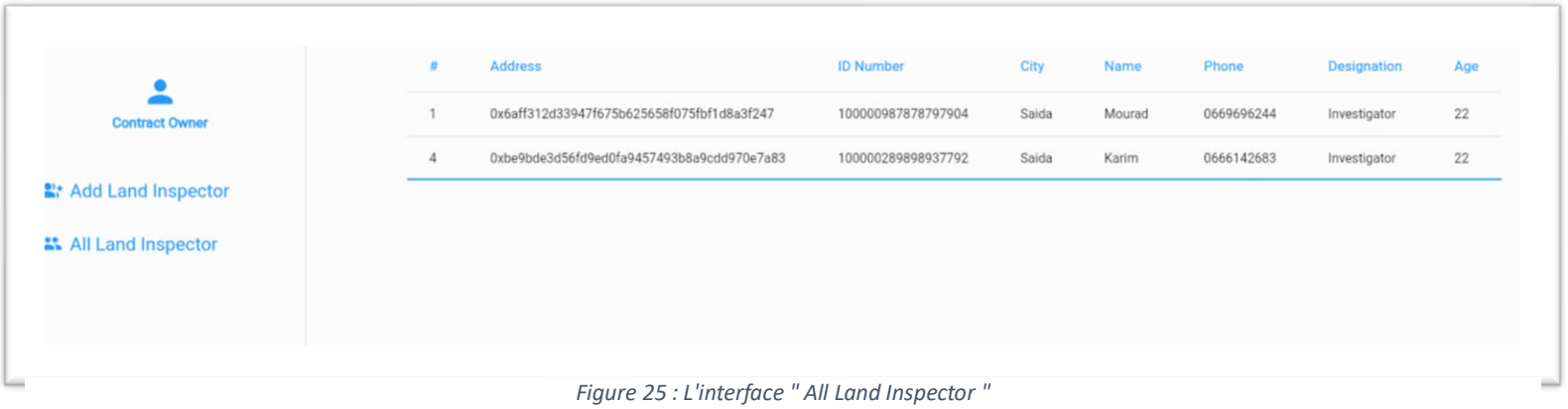

Figure 25 : L'interface " All Land Inspector "

3.6. L'interface " Register User"

Après avoir vérifié que l'utilisateur n'est pas encore enregistré, il est transféré vers l'interface "Register User". Cette interface permet à l'utilisateur d'enregistrer ses informations dans un réseau à Blockchain. Pour ce faire, l'utilissateur doit saisir son nom complet, son âge, la ville où il habite, son adresse de téléphone, son numéro d'identification et son numéro postal. Une fois que l'utilisateur a saisi ses informations, il est invité à fournir une preuve d'identité pour vérification. Cette interface assure la sécurité et l'exactitude des données de l'utilisateur

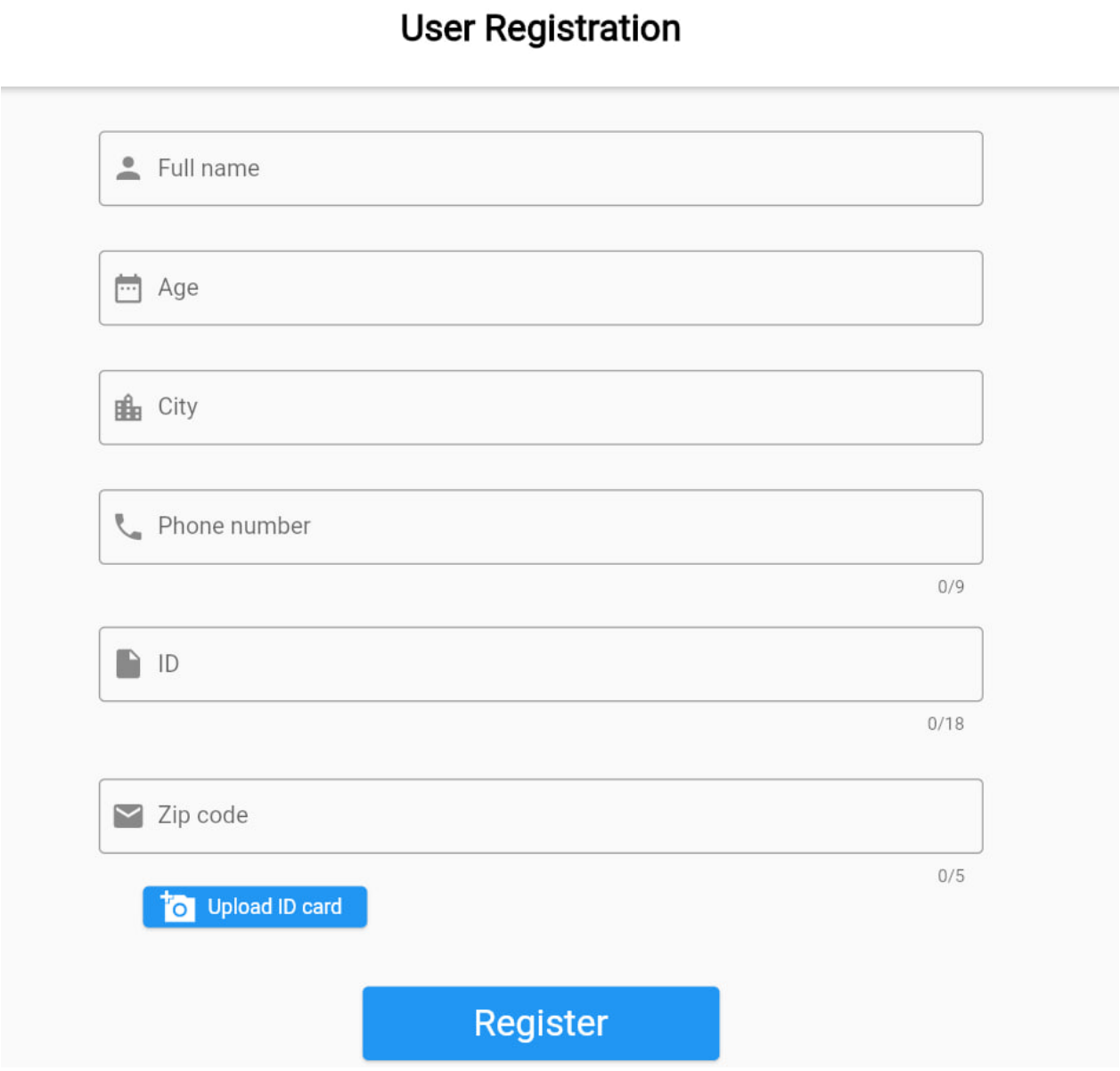

Figure 26 : L'interface " Register User"

3.7. L'interface "User Dashboard"

Après avoir enregistré ses informations dans le réseau blockchain en cliquant sur le bouton "Enregistrer" dans l'interface précédente, l'utilisateur est redirigé vers l'interface utilisateur principale. Cette interface comprend six boutons différents, chacun menant à une interface spécifique. La première interface affichée est le tableau de bord, qui présente toutes les informations de l'utilisateur enregistré. Cette interface indique également si l'identité de l'utilisateur a été vérifiée pour garantir la sécurité et la fiabilité du processus. L'interface utilisateur principale assure un accès facile et personnalisé pour chaque utilisateur enregistré dans le réseau blockchain.

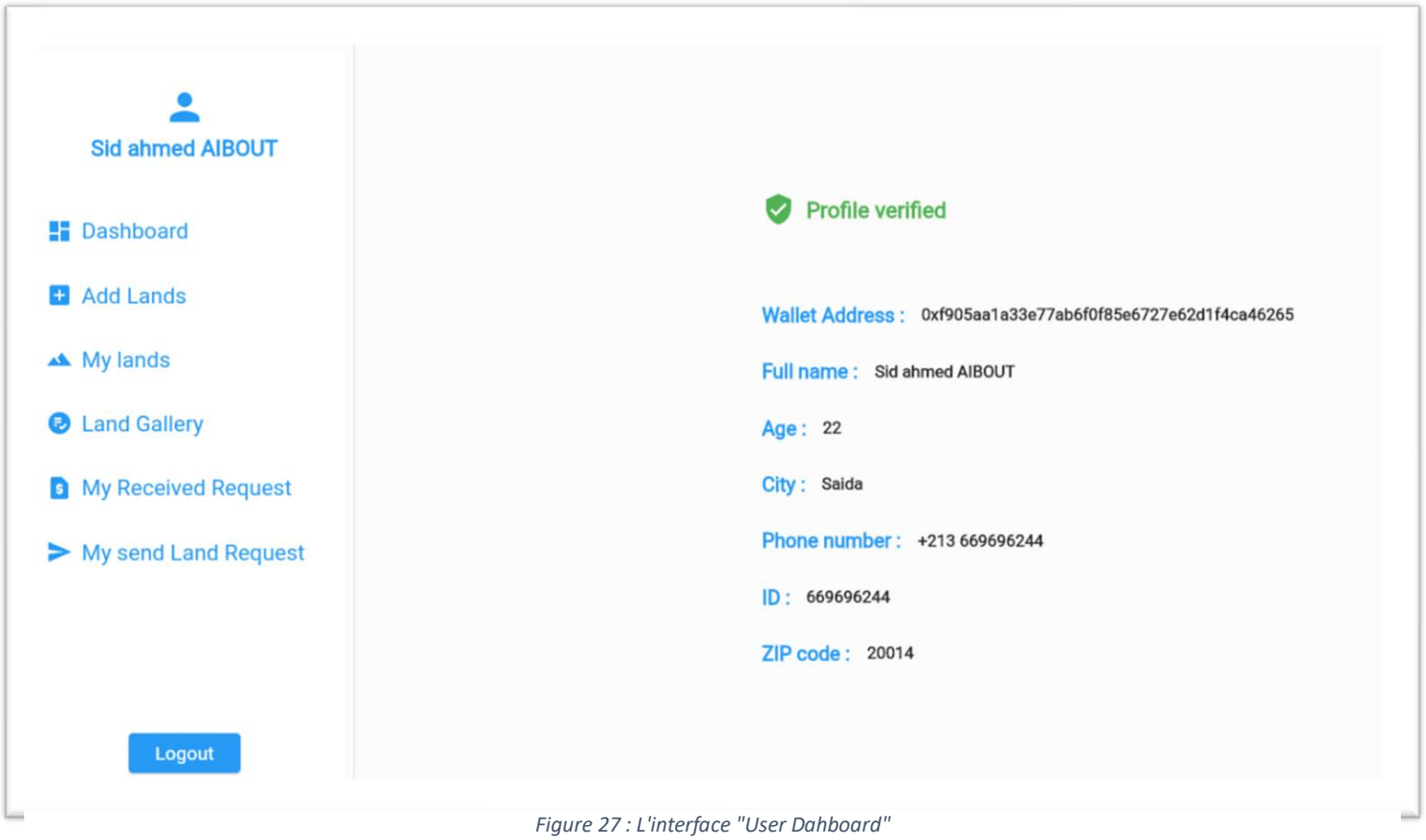

Figure 27 : L'interface "User Dahboard"

3.8. L'interface "Add Land"

L'interface graphique "Add land" permet à chaque utilisateur d'ajouter des terrains et des biens immobiliers dans le réseau blockchain. L'utilisateur commence par enregistrer son bien immobilier afin de pouvoir le proposer à la vente ultérieurement. Il saisit des informations importantes sur le bien, telles que l'adresse, la situation géographique, le numéro d'enregistrement immobilier et la superficie du terrain. Certains utilisateurs téléchargent

également une copie du contrat de propriété pour prouver leur droit de propriété. Après avoir appuyé sur le bouton "Ajouter un terrain", l'enquêteur vérifie les informations pour garantir la propriété réelle de l'utilisateur. Cette interface assure une gestion efficace et sécurisée de tous les terrains et biens immobiliers enregistrés dans le réseau blockchain.

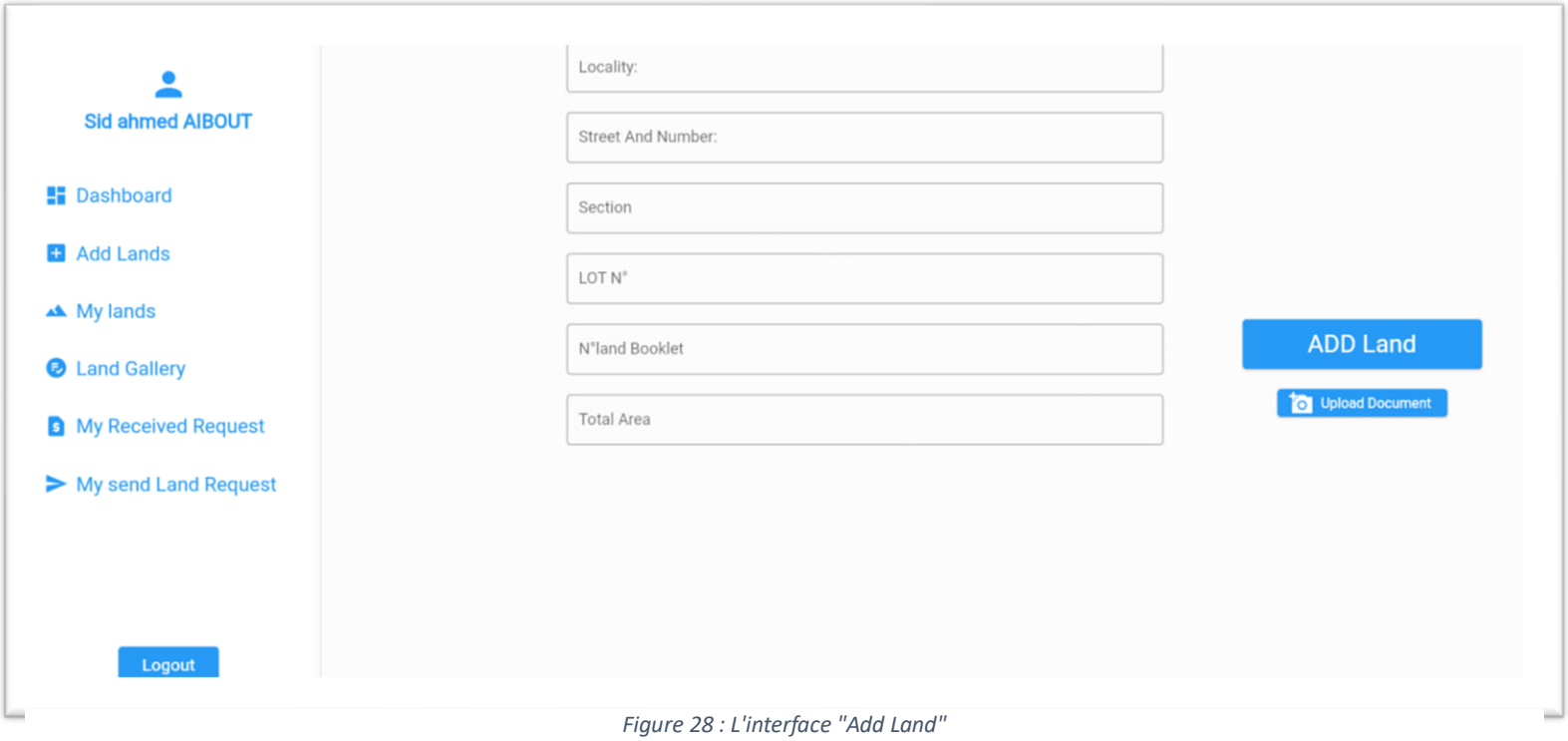

Figure 28 : L'interface "Add Land"

3.9. L'interface "My Land"

En cliquant sur le bouton "My lands" dans l'interface utilisateur principale, l'utilisateur peut accéder à tous les terrains qu'il a enregistrés dans le réseau blockchain. Cette interface affiche toutes les informations de chaque terrain, telles que sa superficie, son prix, son adresse et sa ville. Elle indique également si le terrain a été Vérifier ou non, ainsi que son état de vente. Chaque terrain est accompagné d'un bouton qui permet à son propriétaire de présenter une offre de vente à un prix spécifique. L'interface "My lands" assure une gestion efficace et transparente de tous les terrains enregistrés dans le réseau blockchain.

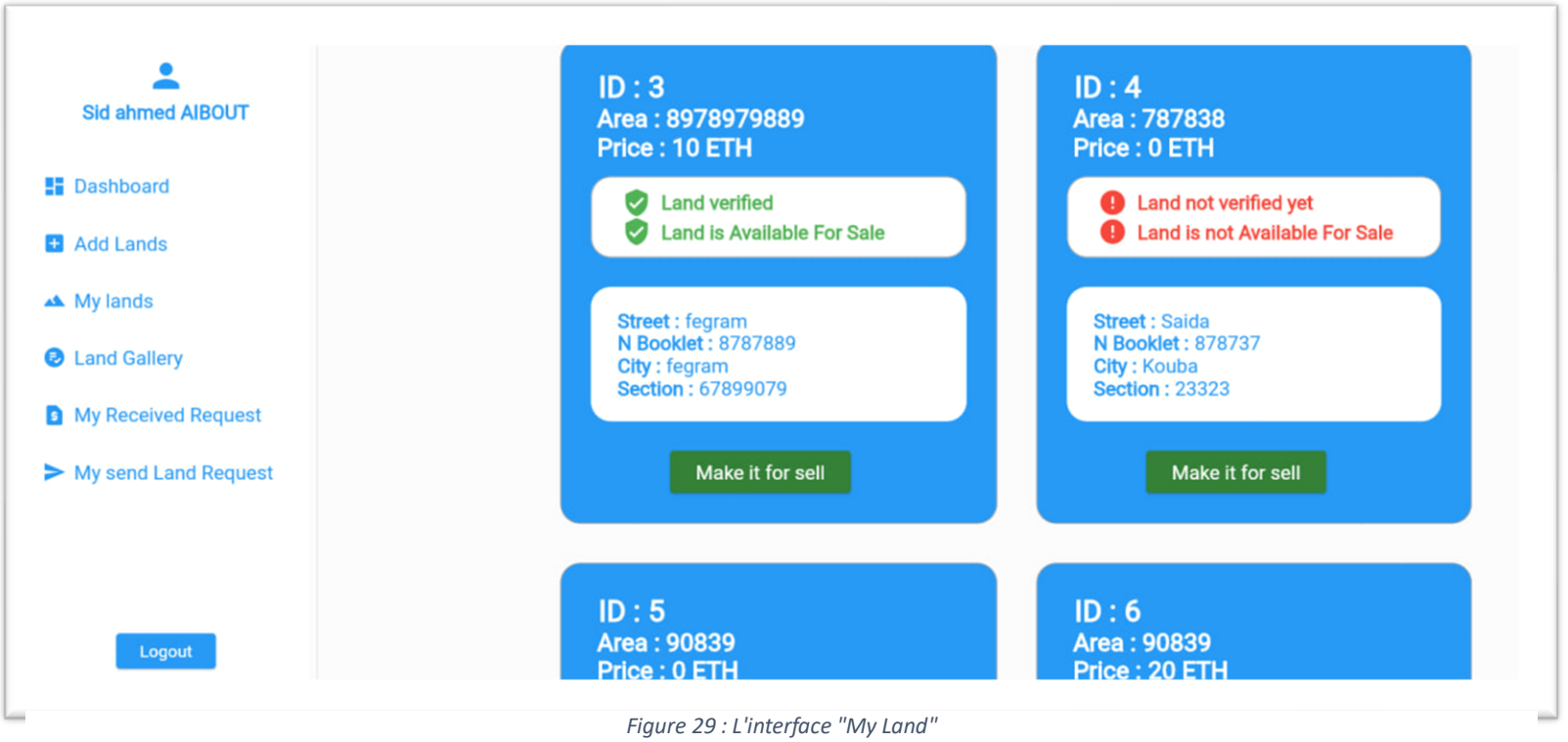

Figure 29 : L'interface "My Land"

3.10. L'interface "Land Gallery"

En cliquant sur le bouton "Land Gallery" dans l'interface utilisateur principale, une boutique de tous les terrains disponibles et proposés à la vente apparaît. Cette interface affiche le prix de chaque terrain ainsi que quelques informations sur le terrain, son propriétaire et son numéro de téléphone pour le contacter. Si l'utilisateur est intéressé par un terrain en particulier, il peut contacter le propriétaire pour en savoir plus. Si le propriétaire accepte l'offre, l'utilisateur peut effectuer le paiement et acheter le terrain en toute sécurité grâce au réseau blockchain. L'interface "Terrains en vente" assure une gestion efficace et transparente de toutes les transactions de vente de terrains dans le réseau blockchain.

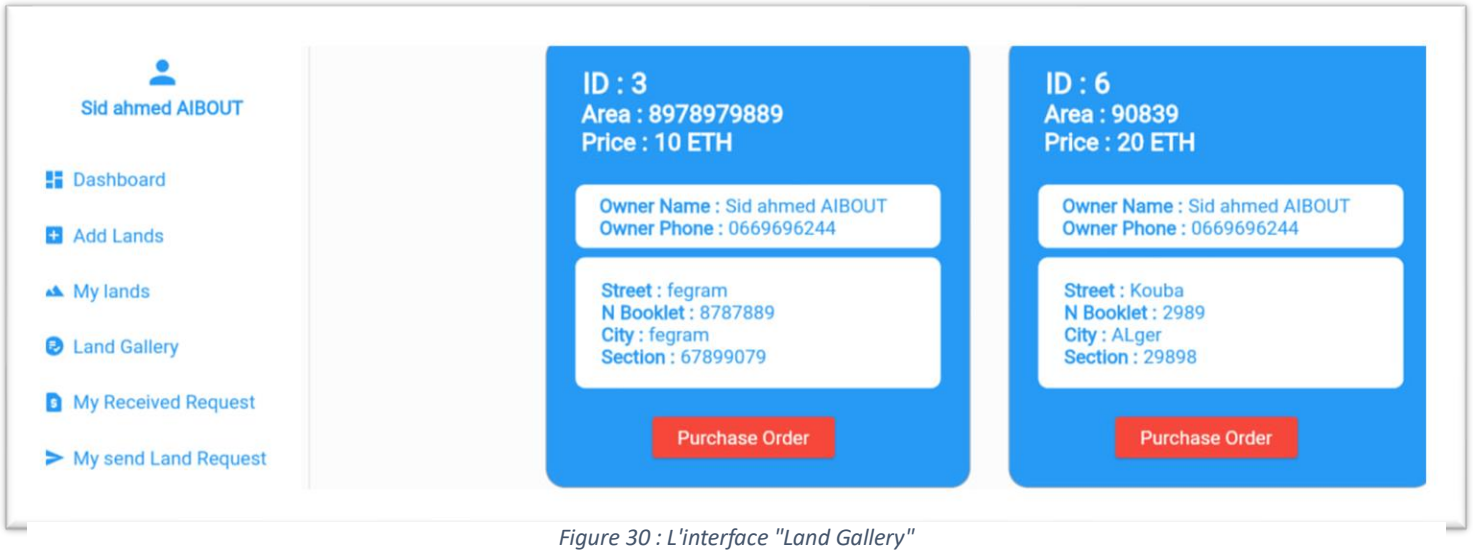

Figure 30 : L'interface "Land Gallery"

3.11. L'interface "My send Land Request"

En cliquant sur le bouton "My send Land Request" dans l'interface utilisateur principale, une liste de tous les terrains pour lesquels l'utilisateur a soumis une demande d'achat apparaît. Cette interface affiche toutes les informations sur les terrains, y compris le prix et les détails de la transaction. À côté de chaque terrain, il y a un bouton d'achat "Buy". Lorsque l'utilisateur appuie sur ce bouton, l'argent est automatiquement transféré du portefeuille de l'acheteur au portefeuille du vendeur et la propriété est transférée du vendeur à l'acheteur. Cette interface assure une gestion efficace et sécurisée de toutes les transactions d'achat de terrains dans le réseau blockchain.

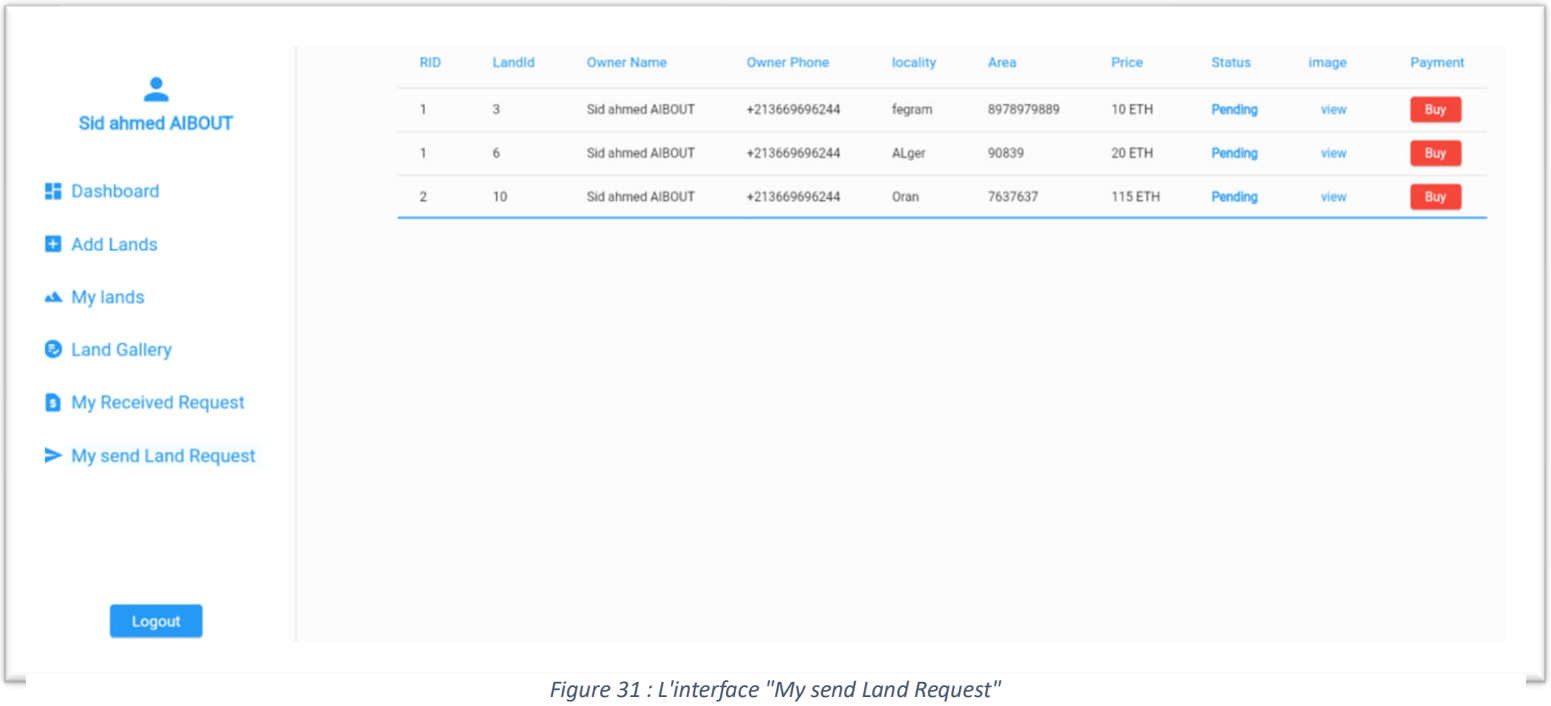

Figure 31 : L'interface "My send Land Request"

3.12. L'interface " My Received Land Request "

L'interface "Mes demandes reçues" est une interface graphique qui représente les demandes d'achat reçues par l'utilisateur pour les terrains qu'il a mis en vente. Lorsque l'utilisateur accède à cette interface, une liste de demandes d'achat s'affiche, indiquant les détails de chaque demande, tels que le nom de l'acheteur, le prix proposé et d'autres informations. L'utilisateur a la possibilité d'accepter ou de refuser chaque demande en fonction de ses préférences. Cette interface garantit une gestion efficace et transparente de toutes les demandes d'achat de terrains dans le réseau blockchain.

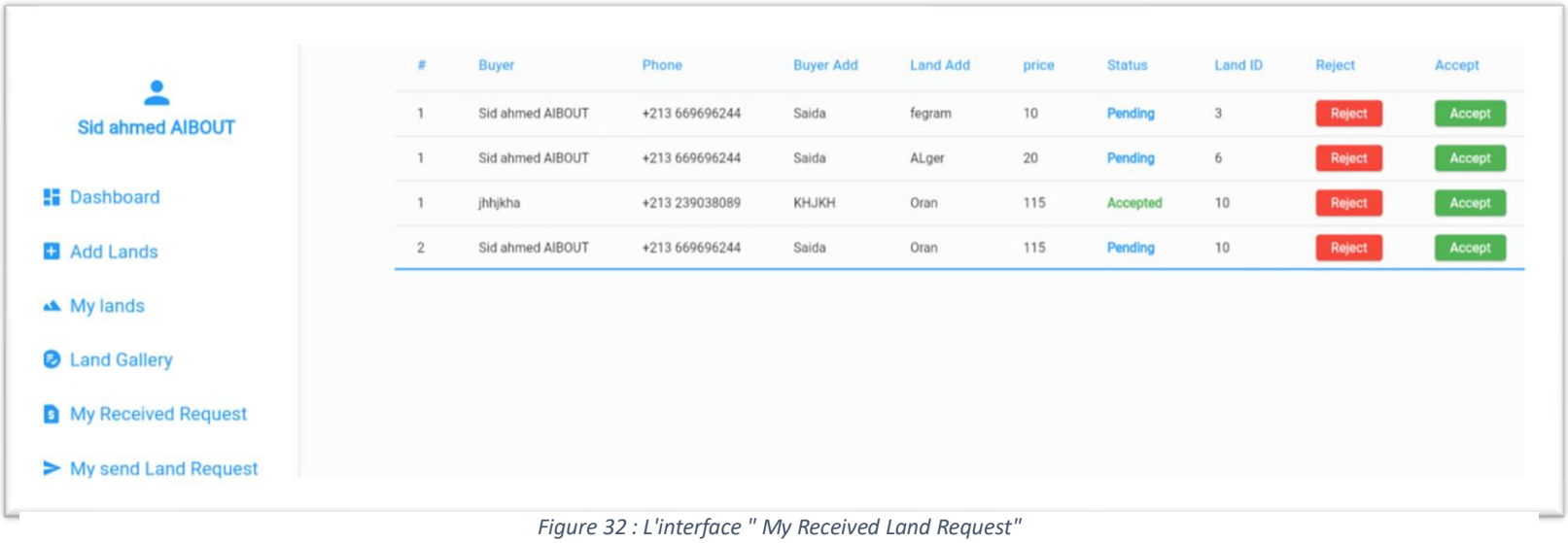

Figure 32 : L'interface " My Received Land Request"

3.13. L'interface "Land Inspector Dashboard"

Lorsque l'enquêteur se connecte à son compte, il accède à une interface graphique spéciale appelée "Tableau de bord de l'inspecteur foncier", différente de celle des utilisateurs réguliers. L'interface de l'enquêteur comporte cinq boutons principaux : le bouton de tableau de bord, un bouton spécial pour vérifier les utilisateurs, un bouton pour vérifier les terrains, un bouton pour tous les utilisateurs et un bouton pour tous les terrains. Lors de sa première utilisation, l'interface affiche des données sur les terrains et les utilisateurs, notamment le nombre total d'utilisateurs et de terrains enregistrés, ainsi que le nombre de terrains et d'utilisateurs qui n'ont pas encore été vérifiés.

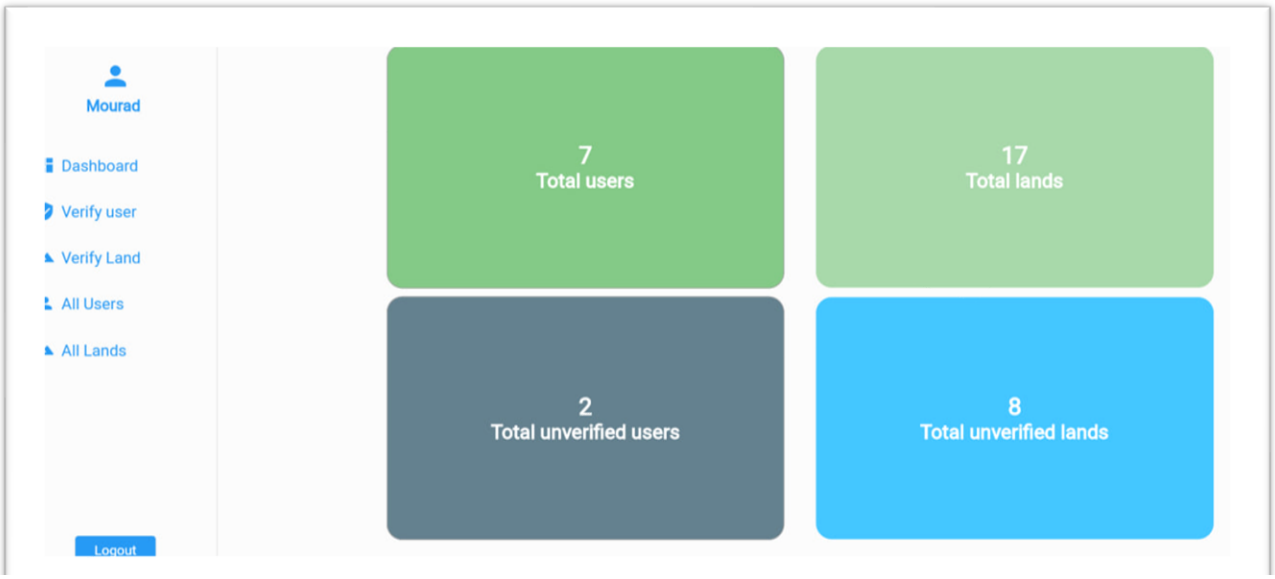

Figure 33 : L'interface "Land Inspector Dashboard"

3.14. L'interface " Verify user"

L'interface graphique "Verify user" est l'une des interfaces de "l'inspecteur foncier" qui sert à vérifier l'identité des utilisateurs. En examinant les informations de chaque utilisateur ainsi que leur carte d'identité émise par un programme d'état civil, l'inspecteur foncier garantit que seuls les vrais utilisateurs sont autorisés à accéder au réseau Blockchain. Cette étape est essentielle pour assurer la transparence et la sécurité du système, car elle empêche l'inscription de faux utilisateurs.

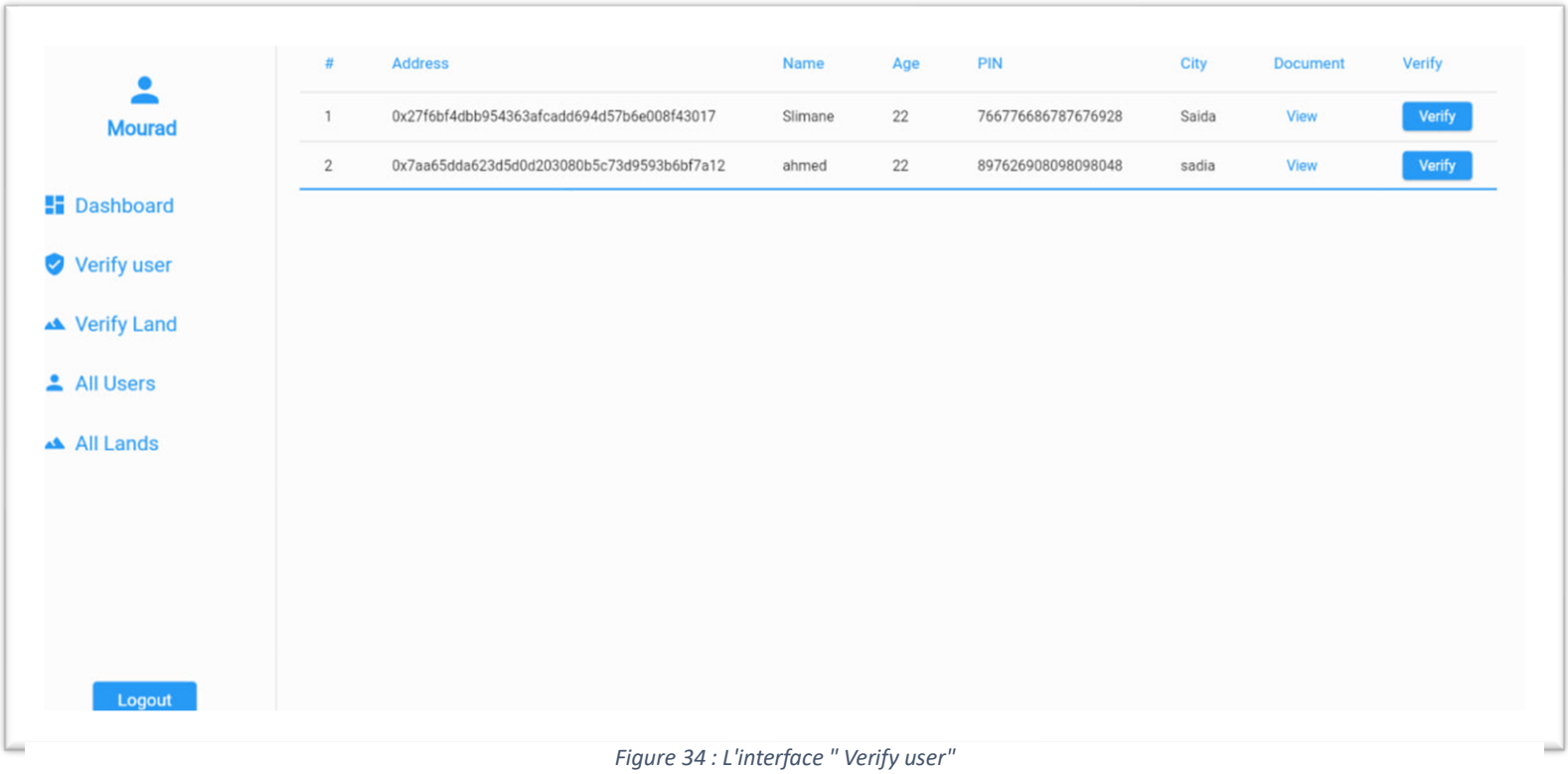

Figure 34 : L'interface " Verify user"

3.15. L'interface " Verify Land"

Lorsque l'enquêteur appuie sur le bouton " Verify Land ", il peut voir la liste de tous les terrains en attente de vérification sur le réseau blockchain. Il peut vérifier les informations que les utilisateurs ont fournies sur leur terrain ainsi que les contrats de propriété téléchargés. Si toutes les informations sont correctes et compatibles, l'enquêteur peut appuyer sur le bouton "Vérifier" pour valider le terrain.

Figure 35 : L'interface " Verify Land"

3.16. L'interface " All Users"

L'interface "All Users" est une des interfaces graphiques de l'inspecteur foncier. Elle permet d'afficher des informations sur tous les utilisateurs du système, en distinguant ceux qui ont été vérifiés de ceux qui ne l'ont pas encore été.

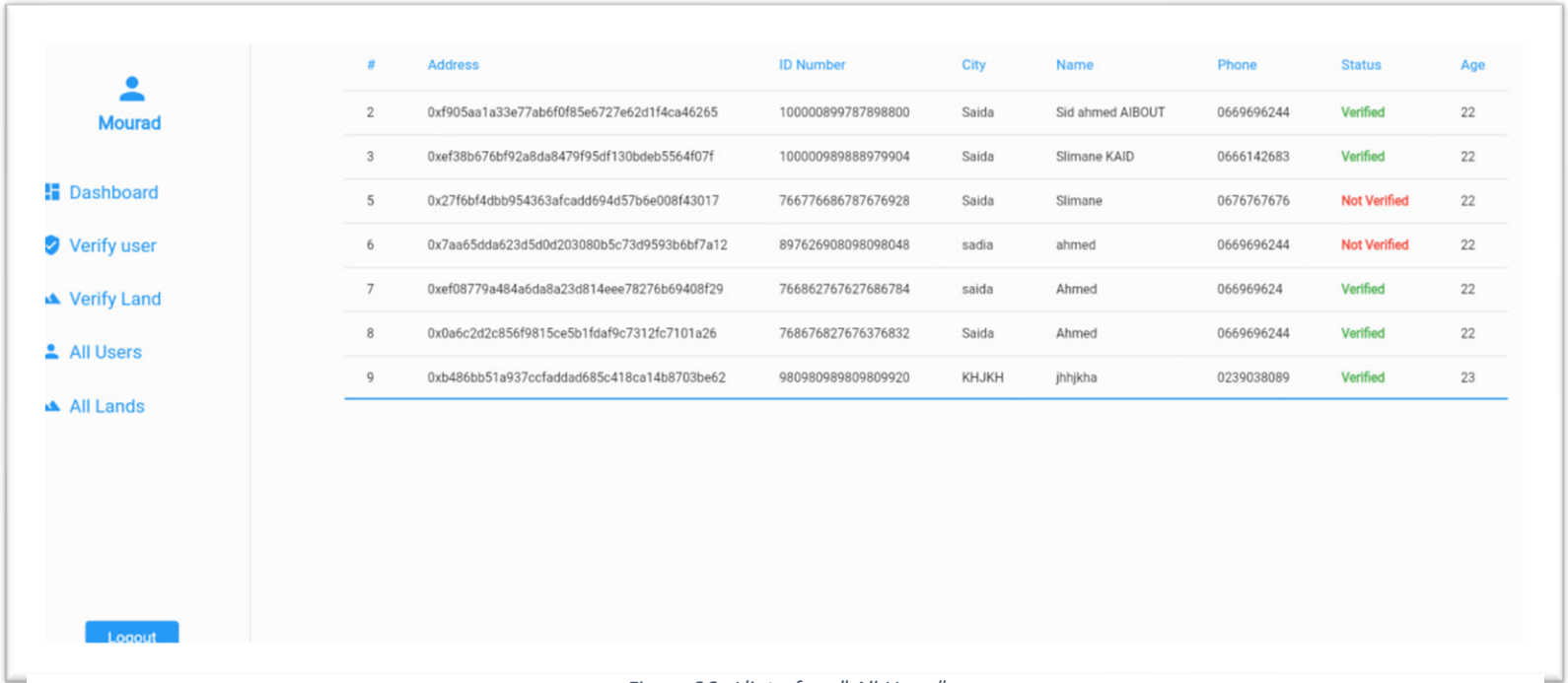

Figure 36 : L'interface " All Users"

3.17. L'interface "Ganache"

Ganache est un logiciel de chaîne de blocs open-source développé par la société Truffle. Il fournit une interface graphique utilisateur (GUI) conviviale pour faciliter le développement, le test et le déploiement de contrats intelligents sur des réseaux Ethereum locaux. Dans cet partie, nous allons décrire les différentes parties de l'interface utilisateur de Ganache.[57]

- Barre de menu: La barre de menu de Ganache contient des options pour accéder à différentes fonctionnalités, notamment le changement de port, la gestion de la blockchain, l'importation et l'exportation de clés privées, etc.

- Fenêtre de compte: La fenêtre de compte affiche les comptes Ethereum disponibles avec leur adresse, leur solde, leur compte de nonce et leur clé privée. Cette fenêtre permet également de générer de nouveaux comptes Ethereum et de transférer des fonds entre ces comptes.

- Blocs et transactions: La fenêtre de blocs et de transactions affiche les blocs Ethereum générés ainsi que les transactions qui y sont associées. Cette fenêtre permet également de simuler différentes conditions de réseau, telles que les temps de réponse de transaction et les taux de réussite.

- Console de journalisation: La console de journalisation affiche des informations détaillées sur les opérations effectuées dans Ganache, telles que les connexions réseau, les transactions, les événements de contrats intelligents et les erreurs.

- Configuration du réseau: La fenêtre de configuration du réseau permet de configurer différents paramètres de réseau tels que le port, la limite de gaz, la difficulté du bloc et le nombre de nœuds de validation.

- Contrats intelligents: La fenêtre des contrats intelligents permet de déployer, de compiler et de tester des contrats intelligents sur le réseau Ethereum local de Ganache. Cette fenêtre permet également de vérifier les résultats des contrats intelligents, tels que les événements émis et les transactions effectuées.

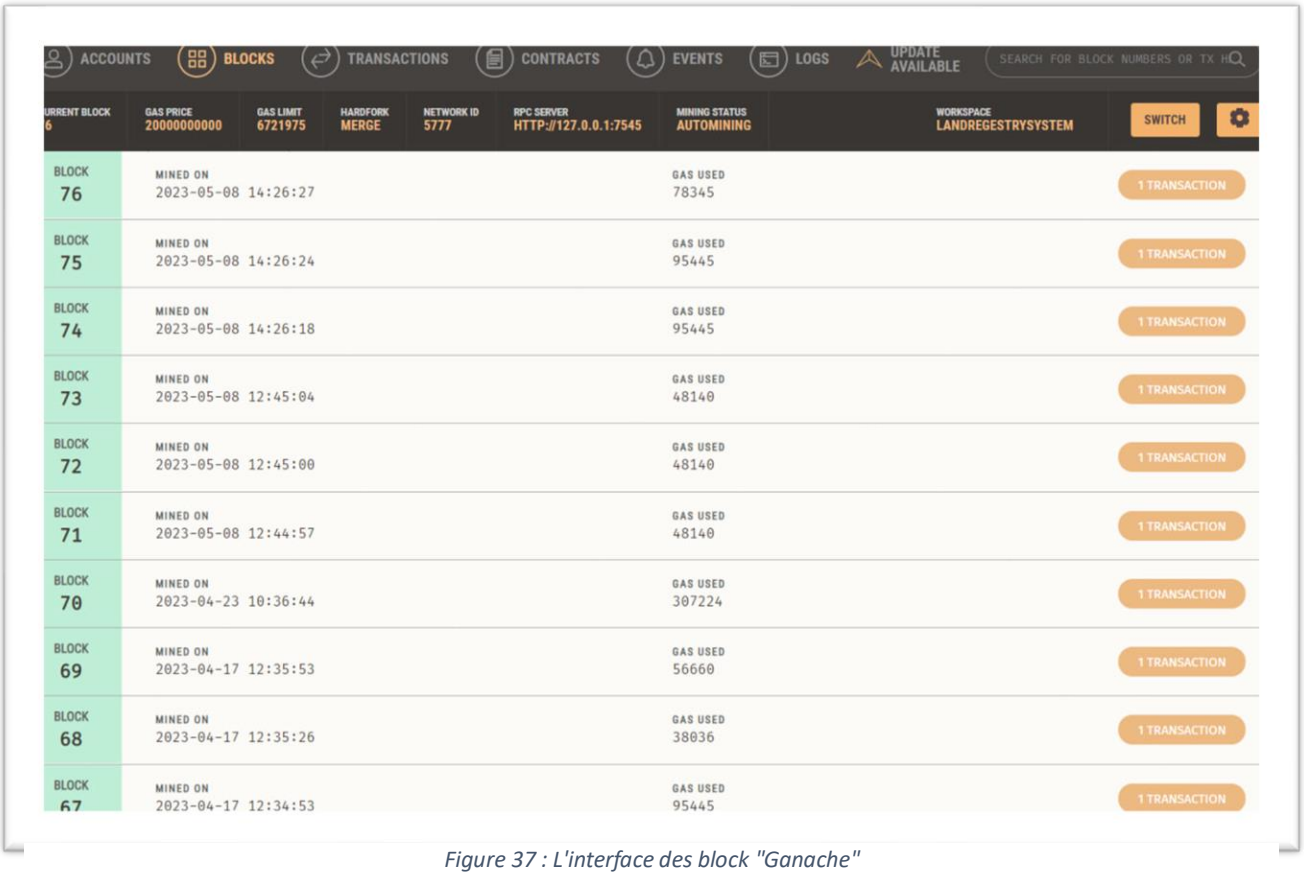

Figure 37 : L'interface des block "Ganache"

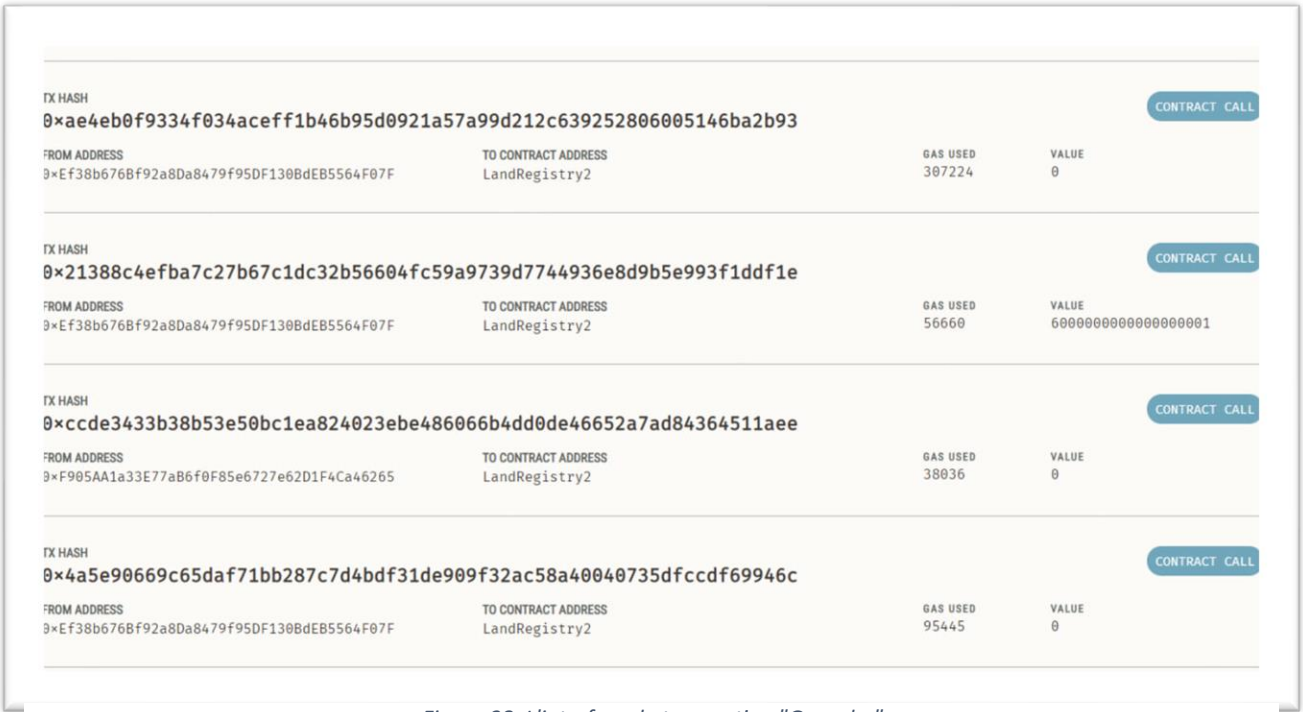

Figure 38: L'interface du transaction "Ganache"

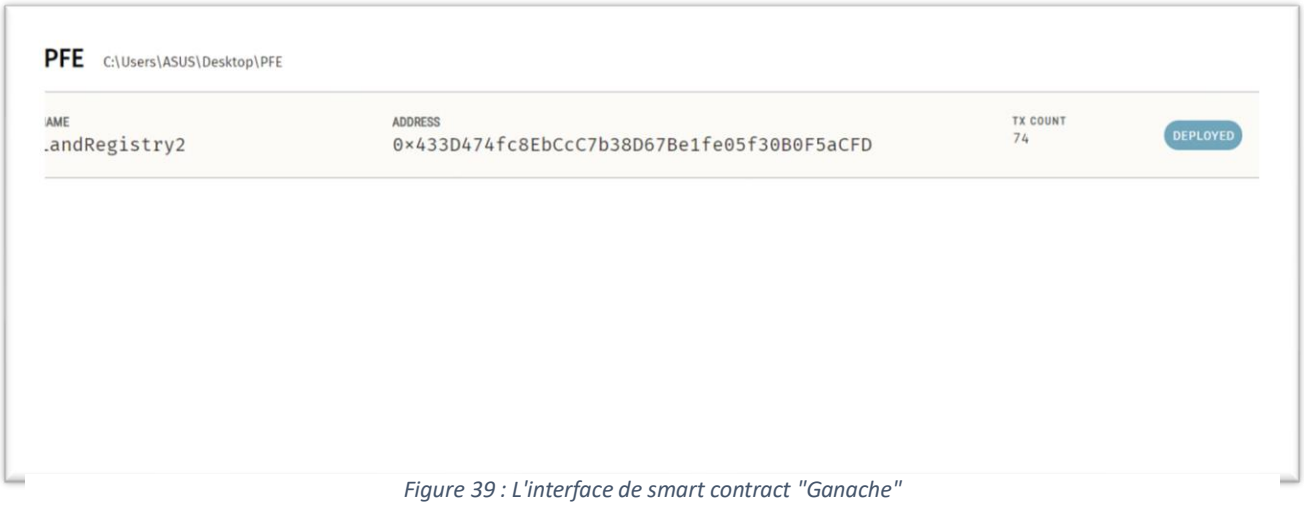

Figure 39 : L'interface de smart contract "Ganache"

4. Conclusion

En conclusion, la réalisation de cette application représente une étape importante, démontrant le potentiel de la technologie blockchain dans l'industrie immobilière. Avec un développement continu et des améliorations, nous croyons que cette application peut devenir un acteur majeur dans la manière dont les transactions immobilières sont menées. Les possibilités offertes par la technologie blockchain sont infinies, et nous sommes impatients de voir comment elle continuera à façonner et à transformer diverses industri

Conclusion Générale

Après des mois d'efforts concertés, nous avons réussi à accomplir notre projet de fin d'études consistant à mettre en œuvre un système d'enregistrement de terres et de biens immobiliers via la technologie blockchain. Ce projet se distingue par sa capacité à fournir une solution innovante et sûre pour la gestion des actifs immobiliers, profitant de la transparence et de la sécurité qu'offre la blockchain.

L'impact potentiel de ce projet sur le monde, et spécifiquement sur notre pays, l'Algérie, est considérable. Non seulement il peut réduire les coûts de gestion et de transaction pour les propriétaires et les investisseurs immobiliers, mais il améliore également la transparence et la fiabilité des transactions. Grâce aux applications décentralisées et aux contrats intelligents que nous avons mis en place, nous pouvons assurer une gestion plus efficace des biens immobiliers et minimiser les risques de fraude et de corruption.

Cependant, il faut mentionner que malgré le potentiel considérable de la blockchain, notre pays interdit l'utilisation des crypto-monnaies, ce qui pourrait constituer un obstacle majeur à l'adoption de ce système. Néanmoins, nous sommes convaincus de la nécessité de trouver des solutions légales et techniques à ce défi.

Le paysage de la blockchain est en constante évolution, avec de nombreuses startups innovantes qui cherchent à faire leur marque. Malgré la concurrence, les avantages apportés par les applications décentralisées et les contrats intelligents sont indéniables et leur adoption par les gouvernements et les entreprises progresse régulièrement.

En particulier, ces applications ont le potentiel de révolutionner la gestion des actifs, notamment dans les pays en développement. Elles offrent une solution innovante et accessible pour la gestion des biens immobiliers, permettant aux gouvernements de lutter plus efficacement contre les diverses formes de corruption affectant leur économie, et d'améliorer la transparence et la sécurité pour les investisseurs et les citoyens.

En somme, notre projet de fin d'études représente une contribution significative à la recherche et au développement dans le domaine de la blockchain. Il démontre de façon concrète le potentiel de cette technologie pour transformer la manière dont nous gérons les actifs et les transactions non seulement en Algérie, mais aussi dans le monde entier.

Bibliographies

[1] « What is Blockchain Technology? - IBM Blockchain | IBM ». https://www.ibm.com/topics/blockchain

[2] « Une brève histoire de la blockchain », *HBR France*, 4 mai 2018. https://www.hbrfrance.fr/chroniques-experts/2018/05/20131-breve-histoire-de-blockchain/

[3] « Qu'est-ce qu'une chaîne de blocs (blockchain) ? » https://www.economie.gouv.fr/entreprises/blockchain-definition-avantage-utilisation-application

[4] « A Brief History of Blockchain ». https://hbr.org/2017/02/a-brief-history-of-blockchain

[5] « Blockchain Today and Tomorrow: A Quick Guide ». https://www.gartner.com/en/articles/what-is-blockchain

[6] « Blockchain Facts: What Is It, How It Works, and How It Can Be Used ». https://www.investopedia.com/terms/b/blockchain.asp

[7] « What Are the 4 Different Types of Blockchain Technology? | TechTarget », *CIO*. https://www.techtarget.com/searchcio/feature/What-are-the-4-different-types-of-blockchain-technology

[8] C. Berbain, « La blockchain : concept, technologies, acteurs et usages », *Ann. Mines - Réal. Ind.*, vol. Août 2017, n° 3, p. 6-9, 2017, doi: 10.3917/rindu1.173.0006.

[9] « A look into the future of blockchain technology | PLOS ONE ». https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0258995

[10] « Le fonctionnement de la blockchain | Cairn.info ». https://www.cairn.info/revue-realites-industrielles-2017-3-page-42.htm

[11] « What is blockchain and what can it do? », *World Economic Forum*, 5 avril 2021. https://www.weforum.org/agenda/2021/04/what-is-blockchain/

[12] « A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open issues - ScienceDirect ». https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0736585318306324

[13] « La blockchain, un bouleversement économique, juridique voire sociétal | Cairn.info ». https://www.cairn.info/revue-i2d-information-donnees-et-documents-2017-3-page-20.htm

[14] « Implémentation à haute performance de la fonction de hachage cryptographique SHA3 sur des circuits FPGA - Archive ouverte HAL ». https://hal.science/tel-03258824/

[15] I. Biaye, « Sécurité Blockchain : Étude analytique des aspects cryptographiques de la Blockchain », 2022, [En ligne]. Disponible sur: http://rivieresdusud.uasz.sn/xmlui/handle/123456789/1682

[16] J.-G. Dumas, P. Lafourcade, A. Tichit, et S. Varrette, *Les blockchains en 50 questions - 2éd.: Comprendre le fonctionnement de cette technologie*. Dunod, 2022.

[17] S. Colin et F. Robic, « Blockchain: nouveau Web ou nouveau Wap? ».

[18] D. Yaga, P. Mell, N. Roby, et K. Scarfone, « Blockchain technology overview », National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, NIST IR 8202, oct. 2018. doi: 10.6028/NIST.IR.8202.

[19] S. Leible, S. Schlager, M. Schubotz, et B. Gipp, « A Review on Blockchain Technology and Blockchain Projects Fostering Open Science », *Front. Blockchain*, vol. 2, 2019, [En ligne]. Disponible sur: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbloc.2019.00016

[20] M. G. Vigliotti, « What Do We Mean by Smart Contracts? Open Challenges in Smart Contracts », *Front. Blockchain*, vol. 3, 2021, [En ligne]. Disponible sur: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbloc.2020.553671

[21] R. Berné, « Blockchain : avantages et inconvénients de cette technologie », *Cryptoast*, 3 janvier 2019. https://cryptoast.fr/blockchain-avantages-inconvenients/.
[22] U. Jafar, M. J. A. Aziz, et Z. Shukur, « Blockchain for Electronic Voting System—Review and Open Research Challenges », *Sensors*, vol. 21, n° 17, p. 5874, août 2021, doi: 10.3390/s21175874.
[23] « Blockchain et santé : en quoi cette technologie profite-t-elle à la santé ? » https://www.lebigdata.fr/blockchain-impacts-sante.
[24] S. Martegoute, « Blockchain : Les grands domaines d'application (1/2) », *Unitec*, 13 avril 2021. https://www.unitec.fr/blockchain-les-domaines-dapplication/.
[25] « 10 Use Cases of Blockchain in Banking in 2022 », *First Bridge*. https://firstbridge.io/blog/blockchain/blockchain-in-banking.
[26] J. Dai et M. A. Vasarhelyi, « Toward Blockchain-Based Accounting and Assurance », *J. Inf. Syst.*, vol. 31, n° 3, p. 5-21, sept. 2017, doi: 10.2308/isys-51804.
[27] « 10 Blockchain in Advertising and Marketing Examples | Built In ». https://builtin.com/blockchain/blockchain-marketing-advertising-examples
[28] « Qu'est-ce que la gestion d'identités par blockchain ? » https://kriptomat.io/fr/blockchain/quest-ce-que-la-gestion-didentites-par-blockchain/
[29] « La blockchain: quels usages pour le gaming ? | Coinhouse ». https://www.coinhouse.com/fr/academie/blockchain/la-blockchain-quels-usages-pour-le-gaming/
[30] « Comprendre les blockchains : fonctionnement et enjeux de ces nouvelles technologies », *Sénat*, 3 avril 2023. https://www.senat.fr/rap/r17-584/r17-584.html
[31] « What Is Coinbase And How Does It Work? | Bankrate ». https://www.bankrate.com/investing/what-is-coinbase/.
[32] « Storj (STORJ) Definition and Use Cases », *Investopedia*. https://www.investopedia.com/storj-cryptocurrency-definition-5224160
[33] « Provenance Blockchain Foundation ». https://provenance.io/
[34] « Cross-chain vs. Multichain - Which is better? » https://www.alchemy.com/overviews/cross-chain-vs-multichain.
[35] « Binance Exchange », *Investopedia*. https://www.investopedia.com/terms/b/binance-exchange.asp.
[36] « The Brave browser basics: what it does, how it differs from rivals | Computerworld ». https://www.computerworld.com/article/3292619/the-brave-browser-basics-what-it-does-how-it-differs-from-rivals.html
[37] « What is BitPay? Full Payment Method Definition - Ikajo », *Ikajo - global payment provider*. https://ikajo.com/payment-methods/what-is-bitpay
[38] « Blockchain for the metaverse: A Review - ScienceDirect ». https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X23000493
[39] « LES PRINCIPALES PLATEFORMES BLOCKCHAIN DE 2022 ». https://technapex.com/blockchain/plateformes-blockchain-2022/
[40] « Plateformes de blockchain | EY - France ». https://www.ey.com/fr_fr/blockchain/blockchain-platforms
[41] « 8 meilleures plateformes de blockchain pour créer des applications financières modernes ». https://geekflare.com/fr/blockchain-platforms-for-finance-applications/
[42] « O que é a Ethereum Virtual Machine (EVM)? » https://academy.bit2me.com/pt/o-que-%C3%A9-ethereum-virtual-machine-evm/
[43] « La Blockchain, Clef De La Sécurisation Du Secteur Foncier Et Du Système Cadastral Dans Les Pays En Développement | Actualités Du Droit | Lamy Liaisons ». https://www.actualitesdudroit.fr/browse/afrique/droits-nationaux/14144/la-blockchain-clef-de-la-securisation-du-secteur-foncier-et-du-systeme-cadastral-dans-les-pays-en-developpement

[44] « Blockchain Based Land Registries - How Technology Can be Used For Land Registration | LinkedIn ». https://www.linkedin.com/pulse/blockchain-based-land-registries-how-technology-can-mutabazi/
[45] « Unified Modeling Language (UML) | An Introduction - GeeksforGeeks ». https://www.geeksforgeeks.org/unified-modeling-language-uml-introduction/
[46] « UML Use Case Diagram - Javatpoint ». https://www.javatpoint.com/uml-use-case-diagram
[47] « UML Sequence Diagram - Javatpoint ». https://www.javatpoint.com/uml-sequence-diagram
[48] A. Davies, « Why Blockchain Developers Use Ethereum? », *DevTeam.Space*, 24 janvier 2023. https://www.devteam.space/blog/blockchain-developers-use-ethereum/
[49] « Ethereum development documentation », *ethereum.org*. https://ethereum.org
[50] « Truffle | Overview - Truffle Suite ». https://trufflesuite.com/docs/truffle/
[51] « What Is MetaMask Wallet and How to Use It? | by Andrea Knezovic | Udonis | Medium ». https://medium.com/udonis/what-is-metamask-wallet-and-how-to-use-it-728a104be02b
[52] « InterPlanetary File System », *Wikipedia*. 10 mai 2023.. [En ligne]. Disponible sur: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=InterPlanetary_File_System&oldid=1154112890
[53] « What Is Solidity Programming in Ethereum | Simplilearn », *Simplilearn.com*. https://www.simplilearn.com/tutorials/blockchain-tutorial/what-is-solidity-programming
[54] « Node.js Introduction ». https://www.w3schools.com/nodejs/nodejs_intro.asp
[55] « remix-ide », *remix-ide*. https://ethereum.github.io/remix-ide/
[56] A. Prasad, « web3dart - Dart and Flutter package in Web3, Crypto & Blockchain category | Flutter Gems ». https://fluttergems.dev/packages/web3dart/.
[57] M. Blog, « Ganache Explained - What is Ganache Blockchain? », *Moralis Web3 | Enterprise-Grade Web3 APIs*, 12 juillet 2021. https://moralis.io/ganache-explained-what-is-ganache-blockchain/

Configuration d’environnement

1. Installation de Flutter et Dart : Guide étape par étape :

- Téléchargez le SDK de Flutter à partir du site officiel de Flutter **(https://flutter.dev/docs/get-started/install).**
- Extrayez le fichier zip téléchargé dans un répertoire de notre choix. Par exemple, si nous utilisons Windows, nous pouvons extraire le fichier zip dans **C:\src\flutter.**
- Ajoutez le répertoire d'installation de Flutter à notre chemin système. Pour cela, accédons aux variables d'environnement de notre système, cliquons sur "**Variables d'environnement**", sélectionnons la variable PATH, puis cliquons sur "**Modifier**". Nous ajoutons ensuite le chemin vers le répertoire d'installation de Flutter. Dans l'exemple précédent, nous devons ajouter **C:\src\flutter\bin** au chemin système.
- Vérifiez que Flutter est installé correctement en exécutant la commande "**flutter doctor**" dans un terminal. Cette commande vérifie si toutes les dépendances nécessaires sont installées et nous donne des instructions pour les installer si elles ne le sont pas.
- Téléchargez le SDK de Dart à partir du site officiel de Dart **(https://dart.dev/get-dart).**
- Extrayez le fichier zip téléchargé dans un répertoire de notre choix. Par exemple, si nous utilisons Windows, nous pouvons extraire le fichier zip dans **C:\src\dart.**
- Ajoutez le répertoire d'installation de Dart à notre chemin système. Pour cela, accédons aux variables d'environnement de notre système, cliquons sur "**Variables d'environnement**", sélectionnons la variable PATH, puis cliquons sur "**Modifier**". Nous ajoutons ensuite le chemin vers le répertoire d'installation de Dart. Dans l'exemple précédent, nous devons ajouter **C:\src\dart\bin.**
- Vérifiez que Dart est installé correctement en exécutant la commande "**dart --version**" dans un terminal. Cette commande affiche la version de Dart installée sur notre ordinateur.
- Installez un éditeur de code compatible avec Flutter, tel que Visual Studio Code
- Installez les extensions nécessaires pour notre éditeur de code. Par exemple, nous utilisons Visual Studio Code, nous installer l'extension "**Flutter**" et "**Dart**" à partir du marché des extensions.

2. Création et lancement d'un projet Flutter Web en local:

- Nous devons ouvrir le terminal et accéder au répertoire où nous voulons créer notre projet Flutter Web.
- Ensuite, nous créons un nouveau projet Flutter en exécutant la commande suivante :

```
flutter create LandRegestry
```

- Cela va créer un nouveau projet Flutter avec les fichiers et dossiers nécessaires pour une application web.
- Une fois que le projet est créé, nous accédons au répertoire du projet en exécutant la commande suivante :

```
cd LandRegestry
```

- Maintenant, nous pouvons construire notre projet Flutter Web en exécutant la commande suivante :

```
flutter build web
```

- Cette commande va construire notre projet et créer un nouveau répertoire appelé "build" dans le répertoire de notre projet.
- Pour exécuter l'application web construite en localhost, nous pouvons utiliser un serveur HTTP simple comme "**http-server**". Pour installer http-server, nous exécutons la commande suivante :

```
npm install --global http-server
```

- Cette commande va installer http-server globalement sur notre système.
- Une fois que http-server est installé, nous accédons au répertoire "build/web" en exécutant la commande suivante :

```
cd build/web
```

- Enfin, nous lançons http-server en exécutant la commande suivante :

```
http-server -p 8080 -c-1 .
```

- Cette commande va lancer http-server sur le port 8080 et servir les fichiers dans le répertoire courant.
- Nous pouvons maintenant ouvrir notre application web dans un navigateur Web en accédant à "http://localhost:8080" dans le navigateur.

3. Configuration de l'environnement Truffle:

- Nous devons installer Node.js et npm. Nous aurons également besoin de leur version la plus récente.
- Nous devons installer Truffle à l'aide de la commande npm suivante:

```
npm install -g truffle
```

- Cette commande installera Truffle de manière globale sur notre ordinateur.
- Nous devons créer un projet Truffle en exécutant la commande suivante:

```
truffle init
```

- Cette commande créera une structure de dossier de projet de base pour nous.
- Nous devons configurer le réseau en fonction de nos besoins dans le fichier truffle-config.js. Nous pouvons configurer le réseaux Ganache.
- Nous devons compiler et déployer notre contrat intelligent en exécutant les commandes suivantes:

```
truffle compile

truffle migrate
```

- Ces commandes compileront notre contrat et le déploieront sur le réseau configuré.
- Enfin, nous pouvons tester notre contrat intelligent en créant des scripts de test dans le dossier test et en exécutant la commande suivante:

```
truffle test
```

- Cela exécutera tous les scripts de test dans le dossier test.