



AgEcon SEARCH
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.



EXPLORING BLOCKCHAIN TECHNOLOGY FOR LAND ADMINISTRATION

Perspectives and Implementation Opportunities

¹RIM BORIJA, ²KAMAL BEN ADDOU IDRISSE, ³MOHAMMED IBRAHIM JEGA, ¹MOHA EL-AYACHI

¹Institut Agronomique et Vétérinaire
Hassan II. Research Unit Land Governance
Geoscience, and Sustainable Development.
Rabat, Maroc

Borija: borijarim@iav.ac.ma

El-ayachi: m.elayachi@iav.ac.ma

²CEO ETAFAT, kamalb@etafat.ma

Casablanca, Maroc

³Consultant : Domineum Blockchain
Solutions

ibromomo@gmail.com

ABSTRACT

Context and background

In the last few years, Blockchain technology has been taking the world by a storm. While it is true that its success has increased with the emergence of the Bitcoin, the world is becoming increasingly aware that the Blockchain is promising heaps in record keeping and transaction management. Land tenure and administration is no exception. Several initiatives have been undertaken to comprehend the extent of Blockchain's potential for land governance system. This paper falls under the scope of that study.

Goal and Objectives

This paper has set out to understand Blockchain and its operating mechanisms in order to determine its contribution to the issues challenging our land tenure systems. In addition, this study has also strived to delimit a framework for the Blockchain implementation in the land sector and create models of this implementation on various levels.

Methodology

This research and its findings are based on bibliographic research, a benchmark analysis as well as expert opinions and consultations.

Results

Land governance is an interesting field of deployment for Blockchain. Indeed, the technology can replace traditional record keeping methods, such as written registries and databases, to manage and track records and documentation insuring they remain unchanged and authentic. It also allows different stakeholders to work together in an automated and efficient framework involving smart contracts and unique digital signatures. Moreover, it can also redefine property into digital tokens exchangeable on the Blockchain. With the careful analysis of the framework of its implementation, Blockchain is as capable of improving current systems and addressing their issues and complicated procedures, as it is of completely redefining their visions and pushing process reengineering. In both cases, Blockchain is an IT solution that reinforces land security and responds to requirements of land systems that traditional solutions still fail to meet.

Keywords

Land systems, Land insecurity Blockchain, Smart Contracts, Land registries, Workflows, Property exchanges, Property rights, Model.

EXPLORATION DE LA TECHNOLOGIE BLOCKCHAIN POUR LE SECTEUR FONCIER

Perspectives et possibilités d'implémentation

¹RIM BORIJA, ²KAMAL BEN ADDOU IDRISSE, ³MOHAMMED IBRAHIM JEGA, ¹MOHA EL-AYACHI

¹Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. Research Unit Land Governance Geoscience, and Sustainable Development. Rabat, Maroc

Borija: borijarim@iav.ac.ma
El-ayachi: m.elayachi@iav.ac.ma

²PDG ETAFAT, kamalb@etafat.ma. Casablanca, Maroc

³Consultant : Domineum Blockchain Solutions
ibromomo@gmail.com

RESUME

Context and background

Ces dernières années, la technologie Blockchain a pris le monde d'assaut. Bien que son succès ait grandi avec la naissance du bitcoin, le monde est de plus en plus conscient que la blockchain est particulièrement prometteuse en matière d'enregistrement des données et des transactions y afférentes. Le domaine du foncier et l'administration des terres ne font pas exception. Plusieurs initiatives ont été entreprises pour comprendre l'étendue du potentiel de la Blockchain pour les systèmes de gouvernance foncière. Ce travail s'inscrit dans cette perspective.

Objectifs

Cette recherche a commencé par s'étendre sur la Blockchain et son mécanisme de fonctionnement et délimiter clairement sa contribution aux problématiques des systèmes fonciers. En outre, cette étude s'est également appliquée à délimiter un cadre pour l'introduction de la Blockchain dans le secteur foncier et à créer des modèles de sa mise en œuvre à différents niveaux de son application.

Méthodologie

Cette recherche et ses conclusions sont basées sur une recherche bibliographique, un Benchmark ainsi que sur des avis d'experts.

Résultats

La gouvernance foncière est un champ de déploiement intéressant pour la blockchain. En effet, la technologie peut remplacer les méthodes traditionnelles de conservation des documents pour gérer et suivre les dossiers et la documentation en veillant à ce qu'ils restent inchangés et authentiques. Elle permet également à différentes parties prenantes de travailler ensemble dans un cadre automatisé et efficace impliquant des contrats intelligents et des signatures numériques uniques. En outre, elle peut également redéfinir la propriété en Tokens numériques échangeables sur la blockchain. En analysant soigneusement le cadre de sa mise en œuvre, la Blockchain est aussi bien capable d'améliorer les systèmes actuels et de résoudre leurs problèmes et leurs procédures compliquées, que de redéfinir complètement leurs visions et de pousser à la réingénierie des processus. Dans les deux cas, la blockchain est une solution informatique qui renforce la sécurité foncière et répond aux exigences des systèmes fonciers que les solutions traditionnelles ne parviennent toujours pas à satisfaire.

Mots clés

Gouvernance foncière, Insécurité foncière Blockchain, Smart Contracts, registres fonciers, workflows, échanges de propriété, droit de propriété, modèles.

1. INTRODUCTION

L'ère de la digitalisation a introduit une panoplie de technologies à nos modèles de gouvernance. Ces technologies ont leur rôle à jouer pour le développement des nations. En effet, le monde se dirige vers la numérisation et la modernisation des services publics dont les différents efforts de l'établissement de stratégies d'e-gouvernance. Les gouvernements commencent à investir dans les systèmes d'information technologique afin de mettre leurs services à la disposition des particuliers, professionnels, et autres instances gouvernementales. Les services publics et leurs qualités impactent directement sur la vie économique et sociale des pays. Il est donc important d'offrir ces services de façon intégrée, transparente et sécurisée.

La gouvernance foncière est au cœur de la gestion du territoire et du développement socio-économique d'un pays. En effet, la terre est le pilier de toute économie. Selon le rapport "The Changing Wealth of Nations (2018)", publié par la Banque mondiale, la richesse des nations réside principalement dans le capital naturel, dont les terres agricoles, et le capital manufacturé dont les bâtiments et les terrains urbains. La bonne administration de ces richesses va certainement améliorer la qualité de vie des citoyens du monde. Par conséquent, la recherche sur les technologies adéquates à la digitalisation du dispositif foncier et qui répondent aux problématiques des systèmes actuels, est une polémique d'ordre prioritaire. En effet, les systèmes de gouvernance foncières sont tourmentés par plusieurs problématiques de confiance et de gestion qui seront abordés dans cette publication. Il est alors clair que, la gouvernance foncière a besoin d'une technologie sous-jacente puissante qui renforce la sécurité foncière et organise l'écosystème institutionnel autour de workflows bien automatisés et traçables. L'une des technologies les plus prometteuses pour répondre à ce besoin est la Blockchain.

Cette étude vise particulièrement l'étude du potentiel de la technologie Blockchain pour les applications du foncier. La présente publication va s'étaler sur quatre sections. La première présente la Blockchain d'un point de vue technique et cerne son mécanisme en passant en revue les différents modèles formés autour. La section suivante s'enfonce dans l'étude de la Blockchain dans le secteur du foncier. Elle décrit les problématiques foncières et la contribution de la Blockchain à leur résolution. Je poursuis avec la concrétisation du potentiel de la Blockchain en présentant, sur trois niveaux, des modèles conceptuels de son déploiement dans le foncier, illustrés par des exemples réels. Finalement, je retrace les prérequis à considérer avant une Blockchain du foncier et délimite un cadre pour l'étude de son implémentation

2. METHODOLOGIE

La recherche été abordé en effectuant une revue Bibliographique et Webographique qui inclut une analyse des bonnes pratiques à travers un Benchmark de procédures. J'ai aussi effectué une analyse qualitative, de par la participation à des Webinaires et en réalisant des interviews et consultations avec des experts de différentes entreprises et fondations de solutions technologiques (MChain, Hedera Foundation, Domineum Blockchain Solutions). Finalement, pour couronner l'étude, le Webinaire « La Blockchain au cœur de l'évolution numérique du secteur Foncier » a été organisé par l'IAV Hassan II, notamment le hub NELGA Afrique du Nord, et ETAFAT.

3. LA TECHNOLOGIE BLOCKCHAIN : MECANISME ET NOTIONS PRINCIPALES

La Blockchain, contrairement à ce qu'on puisse comprendre par son nom, n'est pas seulement une chaîne de blocs qui stocke de la donnée. En réalité, la Blockchain est un protocole informatique, compilant plusieurs technologies, qui peut être programmé ou paramétré pour tracer l'existence ou l'échange de n'importe quel type de donnée ou valeur initiées par un écosystème externe. Cela veut dire que le protocole informatique Blockchain est un mécanisme sous-jacent permet de recevoir et valider des entrées ou des transactions initiées par des individus ou des organisations, et en garder un registre automatique et horodaté. La Blockchain, étant une DLT, ou technologie de registre distribué, se distingue des protocoles centralisés tels les bases de données par trois caractéristiques techniques principales : La structure de données linéaire sous forme de chaîne de Blocs, la distribution de cette donnée sur un réseau de machines indépendantes et connectées entre elles (P2P network), et la décentralisation du pouvoir de prise de décision sur tout ce réseau (Consensus). C'est-à-dire que les entrées de données ou de transactions sur la Blockchain, initiées par un écosystème externe, se font organiser dans un registre en Blocs horodatés à la suite d'un consensus atteint par toutes les machines indépendantes du réseau pair à pair qui détiennent toutes une copie de ce même registre.

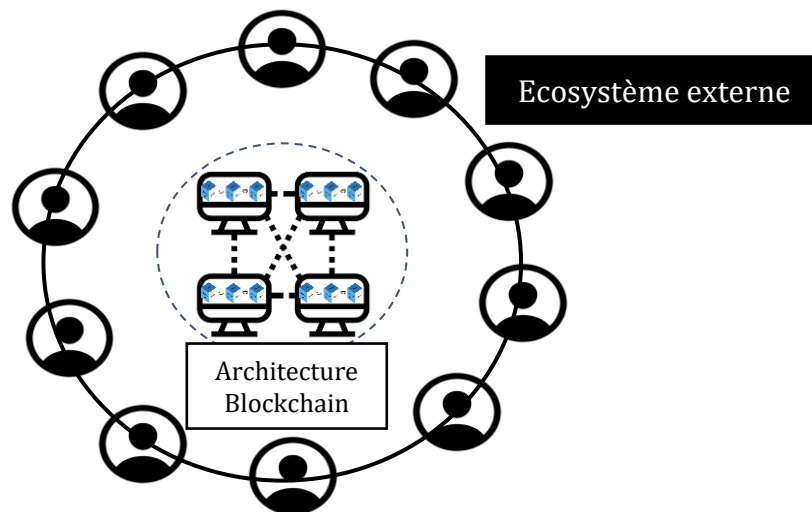


Figure 1 Illustration de la relation Blockchain - Ecosystème externe

3.1 La cryptographie

La cryptographie est une composante clé de la Blockchain. Deux algorithmes de cryptographie mathématiques sont déployés dans les systèmes Blockchain, chacun ayant un rôle distinct : le hachage et le cryptage. (Iredale, 2021b).

3.1.1 Le hachage

Les algorithmes de hachage sont des fonctions irréversibles qui génèrent un résultat unique de longueur fixe, appelé hash, à partir d'une donnée d'entrée. (Jscrambler, 2020)

Le hachage cryptographique est une des technologies de base des systèmes Blockchain. Le hachage est déployé sur plusieurs aspects pour créer des empreintes uniques aux éléments de la Blockchain. D'abord, chaque bloc, une fois validé, est caractérisé par un hash unique à ses données de transactions et son timestamp. A l'aide de ces hash, les blocs sont liés les uns aux autres. C'est-à-dire qu'un bloc fait référence au bloc précédent moyennant son hash. En outre, les entités du système telles que les actifs digitaux sont caractérisés par un hash unique à chacune. Alors, de par sa nature déterministe et irréversible, le hachage permet l'immuabilité, l'intégrité et la sécurité des données sur la blockchain. (Iredale, 2021b)

3.1.2 Le cryptage

Le cryptage fait référence aux processus de conversion d'une donnée d'origine en texte unique appelé cypher. Contrairement au hachage, le cryptage est une fonction réversible. Le décryptage est la fonction inverse qui permet de revenir à la donnée d'origine. Ce processus de cryptage et décryptage implique l'utilisation d'algorithmes et de clés cryptographiques. (Cryptopedia, 2021)

Les systèmes Blockchain utilisent différentes variantes de cryptage pour garantir la sécurité et l'anonymat complet des détails des transactions. Les signatures digitales utilisées pour la signature des transactions sur la Blockchain relèvent du cryptage et permettent de prouver la provenance du message de transaction. En effet, les utilisateurs du système détiennent tous des clés publiques qui permettent de les reconnaître et des clés privées qui permettent de signer leurs transactions. De cette façon, la cryptographie permet de tenir compte des identités sur la Blockchain en offrant une sécurité qui réduit les risques d'usurpation. Par conséquent, les systèmes sont sécurisés et l'accès aux informations cryptées pour les personnes non autorisées est très compliqué. (Iredale, 2021c)

L'infrastructure des clés publiques (PKI) est le système qui distribue et gère les clés privées et publiques correspondantes aux personnes qui les déploient.

3.2 Le registre Blockchain

Dans un système Blockchain, les transactions ou entrées sont validées après consensus du réseau de machines pair à pair et ajoutées dans le registre Blockchain. Ou la partie Blockchain du système. Ce registre contient des données ordonnées de manière linéaire dans des lots appelés blocs, classés par ordre chronologique et reliés entre eux, moyennant la cryptographie, pour créer une chaîne.

Chaque nouveau groupe de transactions validées par les nœuds du réseau se voit organiser dans un Bloc qui contient les informations de toutes les transactions individuelles du groupe. Ces données passent par une fonction de hachage qui donne au bloc son hash, empreinte digitale unique. Ce Bloc est par la suite ajouté à la chaîne par le biais du hash du bloc précédent.

Puisque la Blockchain appartient à la famille des DLT, le registre est distribué sur le réseau de (n) qui détiennent tous la même version de la Blockchain. Si l'un d'eux se trouve avec une version différente (fraude) ce nœud est exclu du réseau et ne participe plus au consensus. Alors, une fois un bloc figurant dans la Blockchain, il est impossible de modifier la donnée qui y figure car cela changerait son hash, ce qui va couper la chaîne chez le nœud et donc décrediter ce dernier face au réseau. Ce dispositif anti-manipulation qui fait de la Blockchain immuable revient à sa structure innée de données de transactions.

3.3 Le consensus

L'un des piliers de la Blockchain est le consensus. Comme aucun nœud n'a d'autorité exclusive sur les données transactionnelles, le rôle de mise à jour du registre Blockchain avec des transactions valides, est partagé. (Verma, 2022). Ceci est fait à travers les algorithmes de consensus (Proof of Work, Proof of Stake, Proof of Authority...) conçus pour réguler la création de blocs d'une manière impartiale et résister aux attaques malveillantes. De cette manière, la composante de consensus permet de garantir l'intégrité d'un réseau et l'authenticité de ses transactions. (Liang, 2020)

3.4 Les Smart Contracts

L'appellation smart contract est généralement mal interprétée. Les contrats signés électroniquement par pdf eSign, par exemple, ne sont pas des smart contracts. En réalité, un smart contract est simplement du programme informatique qui s'exécute lorsque des conditions prédéterminées sont remplies. Techniquement, ils fonctionnent en suivant la logique : Si... Alors... Sinon... Donc En réalité, le smart contract est la façon d'expliquer une procédure, un business logique, ou une transaction, et ses conditions de validation, aux machines qui vont automatiser son exécution une fois ces conditions remplies.

Les smart contracts sont généralement déployés pour automatiser la prise de décision ou décrire le protocole de validation d'une transaction. Ils peuvent également s'intégrer dans un Workflow pour déclencher les différentes étapes au fur et à mesure qu'ils s'alimentent de données prédéfinies. Leurs résultats sont prévisibles et entièrement paramétrables selon le cas d'usage qui dicte le programme informatique. (Ethereum, 2022)

3.5 Les types d'architecture Blockchain

Il existe un ensemble d'architectures Blockchain. Ils se distinguent selon les modèles de permissions, qui viennent exprimer les différents pouvoirs détenus par les machines et les écosystèmes extérieurs sur les composantes du système Blockchain, et les modèles d'écosystème, qui viennent décrire la nature des écosystèmes extérieurs servis par le système Blockchain.

Tableau 1 Tableau qui résume les types de Blockchain

Modèles de permissions	Modèle d'écosystème	La nature de l'écosystème	Blockchain Framework adéquat
Non permissionnaire	Public	Le public général	Bitcoin Ethereum
Permissionnaire	Privé	Les membres d'une même organisation.	HyperPledger
	Hybride	Le public général et les membres d'une organisation : Blockchain alimentée par l'organisation et consultable par le public.	
	Consortium	Acteurs représentant différentes organisations.	

4. LA BLOCKCHAIN FACE AUX PROBLEMATIQUES DU FONCIER

L'étude de la bibliographie a permis de synthétiser les problématiques foncières dans le tableau suivant :

Tableau 2 Tableau qui synthétise les problématiques du foncier

	La gestion des systèmes fonciers : L'insécurité foncière	La gestion des procédures foncières : entre, complexité intermédiaires et corruption	La gestion des modèles de gouvernance : Le modèle renfermé
Problématiques et exemples	<p>A la suite de la colonisation, les pays d'Afrique, d'Asie et d'Amérique latine connaissent une pluralité de systèmes fonciers. (Chouquer,2009). Les régimes fonciers coutumiers et modernes s'affrontent et donc le droit de propriété est souvent mal protégé. Cela est la cause de plusieurs conflits sociaux et inégalités de distribution des terres. (Diarrah, 2018). En Inde, 66% de toutes les affaires judiciaires en cours en 2019 étaient en relation avec les droits de propriété. Ces litiges fonciers portant sur 2,5 millions d'hectares et impliquant 7,7 millions de personnes. (Singh, 2020) Le temps et les ressources gaspillés sont considérables, et la terre devient alors inexploitée pendant des années à cause des procédures judiciaires. (Alam et al, 2020)</p>	<p>Ce n'est guère un secret que la procédure foncière est compliquée. L'enregistrement ou le transfert de propriété, et dans la plupart des cas, un procédé lent, coûteux et compliqué. D'abord, les méthodes d'acquisition de la donnée et de l'établissement des plans et levés nécessaires à toute opération foncière, sont généralement archaïques et coûteuses. Et la procédure elle-même est encore plus compliquée impliquant plusieurs documents gérés par différents bureaux et institutions. Les procédures sont alors longues, coûteuses et manquent de suivi et de transparence. Il est difficile de convaincre le citoyen ordinaire de se lancer dans une telle procédure infamilière juste pour obtenir un document officiel. (Comincioli, 2021)</p>	<p>La terre est le pilier de toute économie. Si l'on détient l'information foncière fiable, on peut mener à bien l'aménagement du territoire et planifier des projets de différents secteurs : la santé, l'éducation, l'approvisionnement On peut aussi collecter les taxes et les impôts sur l'immobilier, et rapprocher le capital foncier du le marché financier.</p> <p>En effet, la propriété foncière est réellement au cœur des économies. C'est pour cela que la gouvernance du foncier se place au centre de tous les modèles de gouvernance d'un pays. Le dispositif foncier devrait être connecté aux dispositifs de différents secteurs d'activité dont la finance, l'aménagement de territoire, la santé, l'éducation...</p> <p>Toutefois, le modèle de gouvernance actuel est isolé et conserve l'information foncière dans les tiroirs fermés d'une institution. Ces</p>
	<p>La diversité des statuts fonciers gérés par des institutions séparées crée des divergences et une duplicité de la documentation qui constitue une brèche dans le système et rend la tâche de délivrer un document stable et incontestable</p>	<p>Qui dit complexité, dit intermédiaires "facilitateurs". En Bangladesh, par exemple. D'autre part, l'opération de vente, étant aussi compliquée, pousse les citoyens à solliciter</p>	

<p>qui prouve la propriété, encore plus difficile, et la confiance en ces documents faible. Là est le cas de l'Inde où, le plus souvent, les propriétaires ne disposent pas de documents qui prouvent leur statut de propriétaires. (Thakur et al, 2020)</p>	<p>l'aide d'intermédiaires pour les guider et se charger des aller retour et de la paperasse administrative. Dans beaucoup de cas, ces intermédiaires exploitent le citoyen en surfacturant leurs services, et certains même se lancent dans des pratiques malicieuses pour vendre le même bien plusieurs fois. Ces pratiques conduisent à un taux élevé de spoliation foncière et d'instabilité sociale et économique. (Alam et al, 2020)</p>	<p>modèles ouvrent les portes à des problématiques telles que l'évasion fiscale, l'inégalité de distribution des richesses, la mauvaise exploitation des territoires, le déficit en investissement...</p>
<p>Au-delà des conflits sociaux, le manque d'un registre foncier fiable peut être très regrettable en cas de catastrophe naturelle. Un exemple qui illustre un évènement pareil : Le tremblement de Terre en 2010 en Haïti. Pendant des années, Haïti suivait un système foncier largement informel et le registre foncier et cadastral étaient obsolètes et mal conservés. Quand le tremblement de terre a eu lieu, nombreux efforts ont été entamés pour reconstruire le pays. En ce moment-là, un obstacle est apparu : l'impossibilité d'identifier les propriétaires légitimes de milliers d'actifs. Ceci a engendré de nombreux litiges qui ont freiné les projets de reconstruction. (DesRoches et al, 2020)</p>	<p>Le foncier est le secteur qui souffre le plus de la corruption et de l'injustice sociale et économique. (Comincioli, 2021) En 2021, dans le monde entier, une personne sur cinq aurait payé un pot-de-vin , pour accélérer le processus d'enregistrement de propriété ou avoir accès à une documentation confidentielle. Même avec l'intégration des systèmes numériques, la procédure n'a pas été réellement digitalisée. Les systèmes d'informations on permet de la dématérialiser et de passer du papier au numérique mais le workflow en lui-même reste largement manuel et ouvre la porte à des pratiques frauduleuses. (Comincioli, 2021)</p>	

<p>Apport de la Blockchain</p>	<p>“La Blockchain vient résoudre principalement une problématique de confiance” (Diwakar, 2022). Et l’insécurité foncière est certainement une question de confiance qui a beaucoup à gagner de la confiance digitale offerte par la Blockchain. En effet, La Blockchain permet une tenue permanente, indestructible et rigoureuse d’un registre horodaté de données et transactions. Le consensus d’un réseau de nœuds pour approuver une transaction ainsi que la distribution de ce registre garantissent l’intégrité de l’information foncière, réduisant ainsi à néant le risque de fraude et de spoliation foncière, mais aussi de perte de données en cas de panne du système, cyber attaque, ou catastrophe naturelle. Cette caractéristique, couplée à la composante cryptographique qui permet de réguler les permissions d’accès à la donnée et protéger l’identité des utilisateurs, ajoutent un avantage indéniable aux systèmes fonciers existants.</p>	<p>La Blockchain a le potentiel d’améliorer les procédures et la relation entre les citoyens et les institutions. (Comincioli, 2021) Avec les smart contracts, les procédures tiennent à être automatisés plutôt que dématérialisées. Cette automatisation permettra d’abord de clarifier la procédure, rassembler les différents acteurs dans un seule protocole connecté et faciliter l’accès à la donnée pour l’ensemble de ce consortium et de leurs clients. Le résultat est un gain de temps, une réduction des coûts des opérations et un suivi en temps réel et partagé de l’opération sur la Blockchain. De cette manière, la procédure devient transparente et auditable sans savoir recours aux intermédiaires.</p>	<p>La Blockchain peut permettre l’ouverture du modèle de gouvernance vers un système digital connecté. L’interopérabilité de différentes Blockchain et l’automatisation de la prise de décision moyennant les smart contracts peut nous ouvrir vers un pays connecté où il ne sera plus nécessaire de chercher l’information et exécuter la décision manuellement. (Bennani, 2022)</p> <p>La Blockchain, les smart contracts et les intelligences artificielles peuvent répondre à ces problématiques dans un modèle similaire aux Smart Cities. Par exemple, ces technologies vont permettre d’automatiser la collecte des impôts immobiliers et raser toute tentative d’évasion fiscale.</p>
--------------------------------	---	--	--

5. LES MODELES D’IMPLEMENTATION DE LA BLOKCHAIN AU FONCIER

La Blockchain du foncier peut être résumée en 3 modèles principaux : (Graglia et Mellon, 2018) et (Sorrell, 2016) et (Ewendt, 2018).

- **Les registres intelligents** : Comme l’indique le nom, la Blockchain vient intégrer les données des livres fonciers et donner une confiance numérique et une traçabilité immuable aux registres de données foncière ou cadastrales.

- **Les workflows intelligents** : La Blockchain et les smart contracts fonctionnent en synergie pour établir un Framework automatisé et tracé sur la Blockchain qui réunit les acteurs d'une procédure.
- **Les échanges intelligents** : C'est le modèle ultime, qui vient s'aider de la Blockchain pour pousser les limites du foncier et changer la façon dont on considère les transactions sur la propriété.

J'aborde chacun de ces modèles avec un cas réel de son implémentation ou étude dans le monde.

5.1 Les registres intelligents

5.1.1 L'enregistrement intelligent

Le premier usage de la Blockchain est, naturellement, de maintenir un registre foncier numérique. Les informations concernant les transferts de propriété résultant de différentes opérations (vente, héritage, saisie...) peuvent être enregistrées dans une Blockchain dont le but est de garder une version immuable du statut de propriété d'un bien et son historique. Le transfert en soi, peut continuer à se faire suivant la procédure normale finissant par l'inscription chez l'autorité chargée, et seul le résultat de l'opération peut être inscrit dans la Blockchain consultable par des instances concernées. Le tout intégré dans un SIG, peut donner un registre foncier fiable et consultable par tous les individus permissionnaires.

Exemple : " Personne A transfère propriété XXXX à Personne B (opération X)".

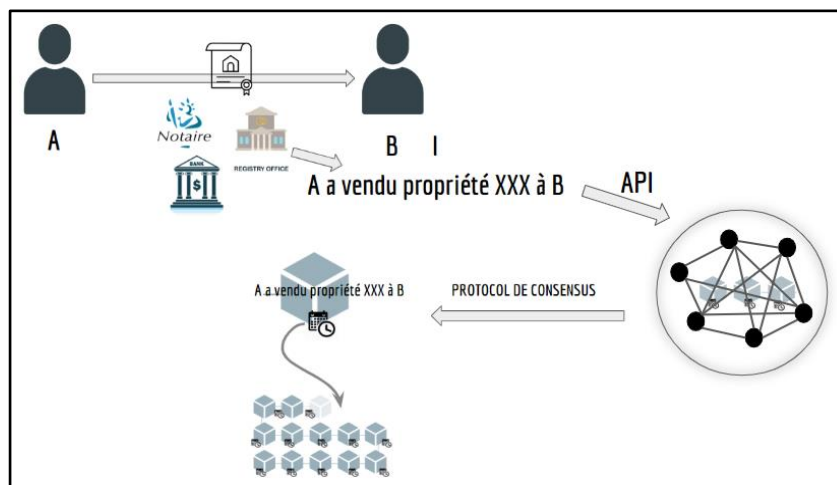


Figure 2 Diagramme explicatif de Smart Recording

5.1.2 Les records intelligents

Les données foncières ou cadastrales se trouvant dans les bases de données centralisées de l'autorité foncière et cadastrale peuvent être enregistrées simultanément sur la Blockchain pour garantir une traçabilité immuable de leur existence dans l'état original où ils ont été approuvés. Cela se passe comme suit : Après l'achèvement d'une opération, un document (certificat, acte, plan, carte...) est réalisé et approuvé et archivé à la base de données centralisée. Automatiquement, une fonction mathématique est appliquée au document, et l'empreinte digitale résultante sera communiquée à un service Blockchain pour garantir la sécurité, la confidentialité et l'intégrité de la donnée foncière.

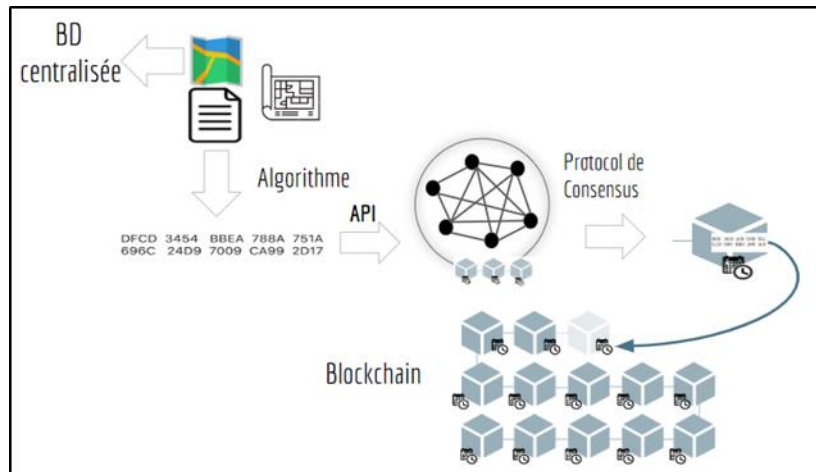


Figure 3 Diagramme explicatif de Smart Recording

5.1.3 Apport et exemples :

Plusieurs pays en Afrique ne disposent pas de registre foncier fiable et rigoureusement maintenu. Déployer la Blockchain comme technologie sous-jacente permet de tenir un registre fiable et sécurisé. Une solution registre intelligent intégré à un SIG peut à être seule faire office de système foncier digital pour les pays qui n'en disposent pas, mais aussi transférer les registres centralisés ou papier, des pays qui en disposent, vers une infrastructure technologique plus sécurisée et automatisée pour garantir l'intégrité du registre et éliminer la corruption et la spoliation foncière car en cas de dispute, ce registre sera une référence incontestable.

Exemple : Domineum Blockchain Solutions, dont le co-fondateur est Mohammed Ibrahim Jega, propose un système Blockchain intégrant un SIG qui met les données foncières des parcelles à la disposition du public et des décideurs politiques. (Domineum, 2018) Cette solution a été déployée en Estonie et est en cours de développement au Nigeria et aux Bahamas. (Jega, 2022),

Grâce à Smart Recording, le système va aussi pouvoir délivrer une documentation foncière et cadastrale (certificats, plans...) appuyée de preuves cryptographiques. Cela rajoute une couche de confiance digitale car la donnée se fait, digitalement, notarié sur un registre immuable qu'offre la Blockchain.

Exemples :

- Dubaï a mis en place une plate-forme électronique fonctionnant sur le protocole informatique Blockchain pour l'enregistrement des opérations et contrats de vente ou de bail qui intègre aussi les données personnelles des citoyens concernés. Les informations sont cryptées et consultables seulement par un consortium : Dubaï Electricity & Water, Les sociétés de Télécom, le dispositif juridique afin d'automatiser certaines de leurs décisions. (ConsenSys, 2022)
- La Colombie : Le gouvernement Colombien a décidé d'instaurer la confiance en le registre foncier du pays en introduisant la technologie Blockchain pour conserver et délivrer les certificats de propriété complets de preuve cryptographique et stockés sur la Blockchain. (Peersyst, 2022)

5.2 Les Workflow intelligents

Dans le foncier, le cas d'usage le plus intéressant de la Blockchain et des smart contracts est la numérisation des Workflow multi-acteurs et multi-étapes. En effet, la digitalisation avec les plateformes de dépôt de dossier et de traitement ne remédie qu'à une partie du problème. Les smart contracts permettent d'automatiser le workflow en programmant des décisions intelligentes ou en numérisant le protocole de validation et signatures. Par conséquent, un smart workflow permet de dématérialiser et accélérer les processus de travail existants et réduire le nombre d'étapes nécessaires. (Bennett et al, 2021)

Le stade des enregistrements intelligents proposait l'intervention de la Blockchain au stade final d'inscription. Le Workflow intelligent va pousser l'intégration de la Blockchain vers la procédure qui a induit cette inscription. En créant un système Blockchain qui identifie les personnes et les actifs, on peut déployer un smart contract qui va permettre d'automatiser et suivre les étapes d'une procédure. Quand une transaction est initiée, ce smart contract se déclenche pour collecter les signatures, progressivement selon les étapes figées dans son code. A chaque validation d'un acteur, le réseau P2P sous-jacent reçoit le message de transaction avec la signature du nœud (preuve de son identité). Ceci se poursuit au long de la procédure jusqu'à la fin où le smart contract est achevé et le bloc de ces transactions est ajouté au registre. L'avancement du smart contract est visible à tout le consortium et donc l'avancement de l'opération peut être suivi en temps réel. Le Framework Blockchain Hyperledger, peu coûteux et scalable, peut fournir l'architecture nécessaire pour créer cette solution.

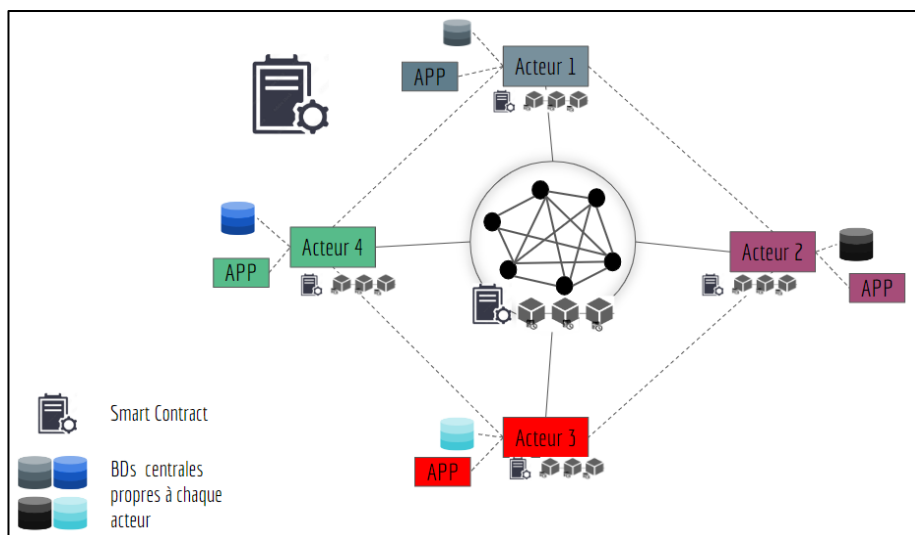


Figure 4 Diagramme représentant les Workflows intelligents

Ce modèle peut être déployé sur toute procédure qui inclut plusieurs acteurs. L'enregistrement d'une propriété (l'immatriculation), le transfert ou mutation de propriété (suite aux différentes procédures de vente, héritage...) De cette manière, l'opération est traçable en temps réel par tous les participants, et la procédure est figée dans un protocole incontournable pour éviter les pratiques frauduleuses ou les omissions d'étapes. En même temps, cela va permettre de clarifier la procédure et préciser exactement les données demandées pour passer à la prochaine étape. Ultimement, cela évite les interactions infructueuses et fait gagner du temps.

Comme exemple est la solution développée par ChromaWay en Suède. En 2016, un projet visant le développement d'une solution technique Blockchain pour la vente d'un bien immobilier a été initié et piloté par l'autorité d'enregistrement foncier Suédoise et une équipe collaboratrice de banques, notaires, agents immobiliers. Loin de changer leur procédure dans son essence ou exclure l'un de ses acteurs, ils ont choisi de développer une application basée sur la blockchain où chaque étape du processus est stipulée dans le smart contract qui automatise son avancement à travers les acteurs concernés qui l'alimentent de données et signatures nécessaires. La solution de Chromaway avait comme but principal de garder une trace immuable des interactions entre les acteurs ainsi que des opérations de vente pour rendre la procédure entièrement transparente et dévouée de toute pratique corrompue. En même temps, cela a permis d'accélérer l'opération en évitant les échanges manuels et de suivre sa progression en temps réel pour tous les acteurs.

5.3 Les échanges intelligents

Le modèle des échanges intelligents vient pousser les limites du conventionnel et révolutionner notre manière de voir la propriété foncière et les transferts des droits de propriété.

Ce modèle redéfinit le droit de propriété moyennant des actifs digitaux de la blockchain, appelés les NFT. Chaque propriété est représentée numériquement par un NFT intégré dans le porte feuillet électronique du propriétaire réel de ce bien. Ce NFT réside sur une Blockchain, et l'échange des propriétés foncière se fait directement contre de la monnaie digitale sur le protocole Blockchain : C'est la tokenisation du droit de propriété.

Les échanges intelligents peuvent se faire de 2 manières différentes selon l'environnement d'implémentation de la solution :

- Le marché informel où les citoyens s'échangent leurs propriétés entre eux et garantissent leurs droits dans les pays qui ne disposent pas d'un système d'enregistrement foncier ou pour les pays qui gardent leur système coutumier au côté du système d'enregistrement comme le Maroc.
- L'échange automatisé qui vient s'ancrer dans le dispositif foncier du pays en reliant l'écosystème foncier à la solution Blockchain. C'est-à-dire qu'à l'achèvement d'une opération d'échange des Tokens de propriété sur la Blockchain, cet écosystème est automatiquement prévenu pour produire les documents légaux y afférant.

L'entreprise blockchain Propy a réussi entre 2021 et 2022, à tokeniser et vendre trois propriétés sous forme de NFT En Ukraine et aux Etats Unis en format digital NFT qui est transféré d'un porte feuillet digital à l'autre. La preuve de propriété existe sur la Blockchain. A la fin du transfert, en plus du NFT, les propriétaires se font délivrer des documents légaux produits par les gouvernements et Propy qui corroborent leurs droits légaux sur les propriétés en question. En Ukraine par exemple, le gouvernement, cherchant à encourager l'investissement immobilier, a collaboré avec Propy sur un cadre juridique, de sorte que lorsque le NFT est transféré sur la Blockchain, le smart contract avertit l'autorité d'enregistrement et les droits légaux sur la propriété sont aussi transférés légalement. (Propy, 2022)

Le modèle des échanges intelligents est une révolution du foncier. Ce modèle, non seulement éradique la spoliation foncière, garantit les droits de propriété, facilite l'accès à la preuve de propriété et simplifie

considérablement la procédure, mais il offre aussi beaucoup de possibilités. Si on branche les NFTs de propriété à la DeFi qui offre la possibilité de prêts en cryptomonnaie, il sera possible de recevoir un prêt et acquérir une propriété en un clic. On peut imaginer des prêts et des transferts de propriété rapides dans le monde entier. En théorie, il n'y a pas de raison technique pour laquelle un individu se trouvant en France ne puisse rapidement et facilement acquérir une propriété au Maroc en un clic. De plus, le point le plus intéressant qu'offre la Blockchain, est l'ouverture de nos systèmes de gouvernances vers des systèmes connectés. Par exemple, avec l'adoption des NFT et des Blockchain dans plus de secteurs, l'interopérabilité de différentes Blockchain et l'automatisation de la prise de décision moyennant les smart contracts, accouplés à l'intelligence artificielle, peut nous ouvrir vers un pays connecté où il ne sera plus nécessaire de chercher l'information foncière et exécuter la décision manuellement. Parmi les exemples les plus simples : l'automatisation de la collecte des impôts immobiliers pour raser toute tentative d'évasion fiscale, ou même une logique d'aménagement de territoire intelligente.

6. L'ETUDE DU CADRE D'IMPLEMENTATION DE LA BLOKCHAIN DU FONCIER

6.1 Les prérequis à l'implémentation de la Blockchain au Foncier

6.1.1 Le registre de données

A mon avis, celle-ci est la plus cruciale des considérations pré-Blockchain. Une blockchain doit fournir une donnée à laquelle on peut faire confiance. Mais, là où la blockchain est parfaitement capable de remplir son rôle de confiance numérique en conservant la donnée de manière immuable et la mobilisant à l'aide de smart contracts, elle ne pourra jamais être en mesure de distinguer entre des données vraies et des données fausses. Il est clair, alors, que les données qui alimentent une Blockchain dans le début du projet devraient être représentatives de la réalité et incontestables au moment de leur admission dans le système.

Dans le cas du foncier, cette réserve est encore plus importante. C'est pour cela qu'avant d'entamer la partie Blockchain d'un projet, il faut donner la priorité à l'acquisition et l'organisation d'un registre d'informations foncières et cadastrales à propos des propriétés de la part de professionnels qualifiés.

6.1.2 L'infrastructure technique

Toute technologie nécessite une certaine infrastructure de base qui pourrait la faire fonctionner et répondre au besoin de connexion internet, ainsi que d'énergie. En effet, il n'est pas lieu de s'approfondir dans les possibilités de mise en œuvre d'une technologie sans assurer une connexion stable ainsi que des sources d'énergie qui alimenteraient son hardware et équipement.

En Afrique, l'infrastructure technologique est une problématique principale qui freine souvent la considération sérieuse de technologies naissantes. Cependant, ceci ne doit pas constituer un obstacle à la réflexion et la recherche qui devraient continuer à trouver des solutions implémentables à moindre coûts et ressources.

6.1.3 Le système des identités digitales

Les registres fonciers indiquent avant tout, qui détient un droit sur une propriété ou qui a effectué une opération sur la propriété. Toutes les informations sont liées à la personne détenant un droit sur cette propriété. Il est donc important de bien cerner l'identité de ces personnes dans les systèmes Blockchain. Ceci veut dire la création, pour les citoyens, d'identités digitales reliées à des signatures cryptographiques reconnues par les smart contracts.

L'idéal serait d'établir un système national de gestion des identités digitales, fonctionnant sur une infrastructure de clés publiques (PKI), qui enregistre les informations des citoyens dans une base de données contrôlée par le gouvernement et les relie à une signature digitale de cette personne. Ce système permet d'établir et délivrer des certificats d'identité numérique avec lesquels le citoyen pourrait déployer selon le besoin, le type d'information qu'il désire divulguer à différents types de services. Par exemple, cela va servir l'automatisation de la prise de décision des gouvernements comme pour le cas des subventions sur certains produits.

6.1.4 La collaboration avec les experts

Un projet d'adoption de la technologie doit tenir compte des coûts et des exigences en Software, Hardware et en maintenance du système. Et vu la complexité de l'architecture Blockchain et du Software, étudier les différents scénarios et alternatives qui peuvent répondre à l'exigence de la problématique est du ressort des experts. En effet, elle ne peut être réalisée sans une connaissance approfondie en l'architecture technologique de la Blockchain. C'est pour cela que la collaboration active entre les instances concernées et des experts en la matière est sollicitée

6.1.5 La formation de l'écosystème foncier

Souvent, la Blockchain est vue comme une technologie qui viendrait déshumaniser les transactions et écraser les autorités centralisées. Ceci peut être vrai pour certains cas d'usage, mais pour le foncier, aucune technologie ne serait en mesure de remplacer les acteurs de l'écosystème foncier ou écarter l'autorité foncière nationale. La nature des transactions est de la valeur échangée ne permet pas de les détacher du dispositif législatif et institutionnel qui les encadre. Il est clair, donc, que l'introduction de la Blockchain au foncier dépend directement de l'acceptation et la coopération de l'écosystème concerné. Par conséquent, il est prioritaire de les familiariser avec la technologie. L'importance d'engager les différentes communautés professionnelles du secteur foncier qui pourraient potentiellement interagir avec la blockchain est considérable. A travers des séminaires, webinaires, tables rondes de discussion, formations ... Les personnes concernées devraient être introduites aux concepts fondamentaux de la Blockchain, assimiler les différentes applications de la technologie au foncier et réaliser la valeur ajoutée qu'elle pourrait apporter au système.

6.1.6 Le cadre législatif

Malgré le fait que la technologie opère depuis 2009, et l'attention qu'elle reçoit du public, il n'y a toujours pas de cadre réglementaire mondial ou de normes internationales à l'utilisation de la technologie et ses

dérivés. Le manque de normalisation et de réglementations génère une réticence sur l'exploration sérieuse de la Blockchain dans les gouvernements et aggrave les problématiques d'interopérabilité. Par conséquent, cela freine le développement de la technologie et les considérations d'une implémentation en masse. (Levy, 2022) En effet, il est clair qu'un projet Blockchain ne peut passer des phases tests à l'implémentation sans un cadre législatif qui entoure la technologie et ses composantes notamment le registre Blockchain, les smart contracts, et les signatures digitales cryptographiques.

Pour le cas du foncier, il est encore plus difficile de parler Blockchain avant de réglementer ses composantes. (Bellaj, 2022). Cela va de soi car c'est une application de gouvernance et non d'entreprise. Il est difficile de parler d'une adoption d'un système qui touche principalement au capital foncier et qui travaille en collaboration avec les acteurs du foncier et de l'immobilier d'un pays sans l'accompagner d'un cadre législatif. La seule option pour le moment est de continuer à opérer les tests dont les résultats guident et encouragent les législateurs à développer le cadre juridique nécessaire à l'adoption.

6.2 L'étude du cadre d'implémentation

Dans les prochaines années, la Blockchain va probablement toucher tous les secteurs d'activité. Un ensemble de cas d'usage ont démontré la flexibilité de la technologie et sa capacité d'apporter de la confiance, transparence et automatisation là où on l'applique. (Arun, Cuomo et Gaur, 2009)

Mais comme mentionné plus haut, une Blockchain doit être soigneusement cadrée. C'est pour cela que la première étude à réaliser avant de paramétrer la technologie, est celle du business problem. Afin de mener cette étude, j'ai développé un Framework de quatre composantes qui, par le biais de questions auxquels il faut répondre, aide à situer la Blockchain dans le milieu de son implémentation pour les utilisations du foncier. Je désigne ce Framework E²GT.

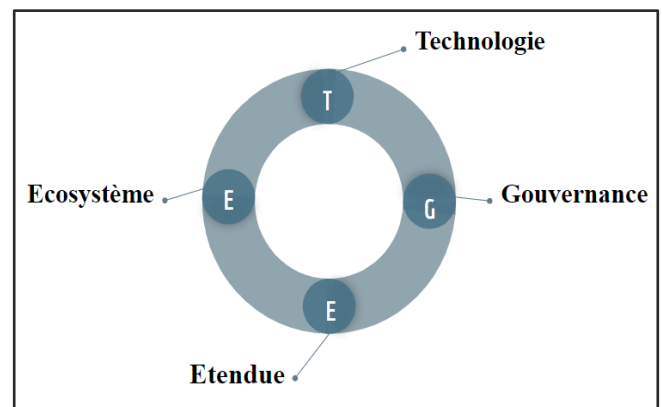


Figure 5 Diagramme représentant les différents éléments du Framework E²GT.

6.2.1 Ecosystème

Comme expliqué plus haut, Les participants qui tournent autour de l'architecture Blockchain constituent un écosystème. Que ce soit des personnes anonymes (DAO), un consortium d'organismes, les différentes filiales ou départements d'un même organisme, ou des citoyens dont les identités sont cernées, ces participants ont tous un rôle à jouer dans la transaction en question et ont tous un certain niveau d'accès au registre Blockchain.

C'est pour cela qu'on ne peut parler d'implémenter une application Blockchain, sans d'abord, étudier les acteurs de l'écosystème qui seront reliés à cette application, mais aussi, cerner la bonne initiative d'incitation qui va les motiver à exploiter la Blockchain. En effet, le bon plan d'incitation stimule la

motivation et la coopération des acteurs concernés pour garantir un environnement sain et de confiance. (Arun, Cuomo et Gaur, 2009)

Pour le foncier, les acteurs sont multiples. Il est important de les identifier dans leur milieu, et les introduire à la technologie pour déterminer ce qui pourrait les motiver à implémenter la Blockchain et ce qui causerait leurs réticences.

Qui sont les membres de l'écosystème ?

Comment ces acteurs sont-ils distingués ?

Comment sont-ils organisés institutionnellement dans l'écosystème ?

Qui sont les acteurs décideurs ?

Quel est leur degré de conscience de la Blockchain ?

Quelles sont leurs appréhensions de la Blockchain ?

Qu'est-ce qui les intéresse dans la Blockchain ?

6.2.2 Etendue

Il est lieu de comprendre à quels niveaux pouvons-nous pousser l'intégration de la technologie à un système foncier spécifique pour s'assurer d'apporter une valeur ajoutée personnalisée au milieu et ses problématiques.

Quelles sont les problématiques du système actuel auxquelles la Blockchain peut remédier ?

A quel degré est tenu le registre foncier actuel ?

A quel degré est numérisé le système foncier actuel ?

Lesquels des trois modèles et applications pourrait bénéficier le système actuel ?

6.2.3 Gouvernance

Les fondements de tout organisme reposent sur la structure et la stratégie de gouvernance. La Blockchain est simplement une technologie. Elle ne peut ignorer un protocole réglementaire ou législatif. C'est pour cela que l'étude du cadre de gouvernance et de prise de décision est la partie la plus critique d'un projet Blockchain. Dans le cas du foncier, il y a plusieurs éléments à prendre en compte. La gouvernance foncière, surtout, se distingue par un cadre de gouvernance strict régi par une législation bien détaillée pour chaque pays. Ce cadre fixe les procédures des institutions foncières et régit leurs interactions avec les acteurs de l'écosystème foncier pour chaque opération.

Il faut alors cerner :

La nature du système foncier du pays.

Les politiques de conservation des archives et données foncières : Le volume des données et leur organisation.

Les politiques de partage et mise à disponibilité de l'information par l'autorité gouvernante à l'écosystème ?

Les besoins d'interopérabilité avec un autre secteur que le foncier ?

Pour chaque cas d'usage ou étendue, l'opération sera formulée dans des smart contracts, il est donc important d'étudier le workflow et les politiques de cette opération (exemple : la vente immobilière) :

Quel est le Flux de l'opération et l'organisation des acteurs de l'écosystème dans les étapes ?

Quels types de données résultent de cette opération ?

Par quel biais l'information, ou la donnée, est communiquée/partagée entre les acteurs ?

Quelle information est apportée par chacun des acteurs à l'opération ?

Quels acteurs ont un pouvoir législatif de valider une étape de l'opération ?

Comment sont rémunérés les acteurs de cette opération ?

6.2.4 Technologie

Placée dernière dans le Framework E²GT, la composante technologique est une interprétation technique des conclusions tirées plus haut. En effet, ce n'est qu'en répondant aux questions précédentes qu'un choix cohérent des spécifications de la Blockchain peut se faire (Arun, Cuomo et Gaur, 2009). Pour le cas du foncier, il faut :

Mettre en place le système d'authentification PKI des membres de l'écosystème.

Définir la logique de fonctionnement des nœuds P2P et de réception de transactions de la part de l'écosystème :

- *Déterminer les signatures acceptées par le registre public pour publier la donnée dans la Blockchain ?*
- *Déterminer les signatures acceptées par le registre public pour consulter la donnée ?*

Déterminer le flux d'entrée de transactions par jour.

Énumérer les différents smart contracts qui complètent l'ensemble des transactions fixés dans l'étendue.

Déterminer les permissions et rôles de chaque membre selon le modèle de gouvernance de chaque transaction.

Configurer le protocole de validation des smart contracts selon le modèle de gouvernance de chaque "transaction".

Déterminer les données qui alimentent les smart contracts et comment elles sont reconnues, selon le modèle de gouvernance de chaque transaction.

7. CONCLUSION

L'amélioration des systèmes de gouvernance foncière est au cœur des politiques de développement des gouvernements. En effet, un système de tenue foncière rigoureux et fiable permet aux populations de se sentir en sécurité, encourage l'investissement et l'activité, et assure que la terre soit productive et puisse soutenir le pays. Ce travail a démontré, sur plusieurs aspects, que la Blockchain est une technologie capable d'améliorer et pousser les systèmes fonciers et leurs procédures, et que son implémentation n'est pas nécessairement compliquée mais nécessite une étude approfondie des systèmes actuels.

A la suite de ces conclusions, il est clair que les gouvernements devraient prendre le pas de la recherche et prévoir des études dans leurs propres milieux afin d'en savoir davantage sur la capitalisation des apports de la Blockchain au service des systèmes fonciers. Mais en attendant l'ouverture des gouvernements et le développement de la législation, les recherches Blockchain, sur tous les secteurs, dont le foncier, peuvent créer des opportunités d'échange entre les experts et les membres des écosystèmes afin de commencer à les familiariser avec la technologie et ses apports.

Le Maroc dispose d'un capital foncier énorme et présente un cas d'étude intéressant pour la Blockchain dans ce secteur. En effet, la dualité du système foncier, et les problématiques de spoliation foncière et de systèmes de gouvernance foncière largement manuels peuvent motiver la recherche sur le potentiel de la technologie Blockchain dans le Maroc. En même temps la tenue rigoureuse de registres fonciers ainsi que leur ouverture à la digitalisation constituent une base prometteuse au développement des systèmes Blockchain dans le secteur foncier au Maroc.

Cette première publication s'inscrit dans ma recherche doctorale. Par la suite, je compte déployer le Framework E²GT présenté dans cette étude, ainsi que d'autres méthodes pour étudier la faisabilité d'implémentation de la Blockchain au Maroc. Eventuellement, les conclusions tirées serviront de base pour le développement d'un prototype de solution Blockchain adapté correctement au système foncier du pays et touchant à plusieurs procédures. Cette étude a pour espoir d'informer et motiver les autorités foncières au Maroc, et les décideurs politiques ainsi que les législateurs à prendre le pas vers une technologie qui promet d'un jour guider le futur des données et transactions dans le monde entier.

8. RECONAISSANCE

Les auteurs remercient tous les experts et consultants avec lesquels l'auteur de contact de cet article a échangé durant cette étude. Le recours à leurs conseils et explications a été indispensable à cette étude.

9. FINANCEMENT

Cette étude n'a pas bénéficié de financement externe.

10. CONTRIBUTION DES AUTEURS

RIM BORIJA : Recherche bibliographique, conception des modèles, rédaction du manuscrit.

MOHA EL-AYACHI : Direction et encadrement, correction et rédaction du manuscrit.

KAMAL BEN ADDOU IDRISSE : Encadrement et révision.

MOHAMMED IBRAHIM JEGA : Consultation et révision.

11. REFERENCES

Abrol, A. (2022, September 8) What Is Peer to Peer Network, and How Does It Work? Blockchain Council. (www.blockchain-council.org/blockchain/peer-to-peer-network.)

Akrouti, H. (2020, August 9). Consensus Algorithms in Blockchain Systems. DEV Community. (<https://dev.to/akroutihamza/consensus-algorithms-in-blockchain-systems-44ag>)

Alam, K. M., Rahman, J. A., Tasnim, A., & Akther, A. (2020). A blockchain-based land title management system for Bangladesh. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*.

Chouquer, G. (2009). Enjeux fonciers. Première partie: Afrique et Madagascar. *Études rurales*, (184), 251-272

Bennett, R., Miller, T., Pickering, M., & Kara, A. K. (2021). Hybrid approaches for smart contracts in land administration : Lessons from three blockchain proofs-of-concept. *Land*, 10(2), 220.

Comincioli, L. M. (2021). The Role of Blockchain in Improving Land-users' Rights (Can blockchain solve corruption problems in land administration in developing countries?-The case of India), *Mémoire de Master joint Global Economic Governance and Public Affairs, CIFE European Institute, Luiss School of Government, Rome*, 100p.

ConsenSys. (2022). Blockchain for Government: Smart Dubai. ConsenSys. (<https://consensys.net/blockchain-use-cases/government-and-the-public-sector/smart-dubai/>)

Cryptopedia. (2021, April 20). What Is Encryption in Blockchain and Crypto? Cryptopedia. (<https://www.gemini.com/cryptopedia/what-is-encryption-blockchain-symmetric-asymmetric>)

DesRoches, R., Comerio, M., Eberhard, M., Mooney, W., & Rix, G. J. (2011). Overview of the 2010 Haiti earthquake, *Earthquake Spectra, Earthquake Engineering Research Institute, Volume 27, No. S1, pages S1–S21*.

Diarrah, S. (2018). *La Blockchain dans la prévention et la gestion des conflits sociaux en Afrique: cas du foncier au Mali* , Livre Blanc, 51p.

Ethereum (2022). Ethereum Energy Consumption, Ethereum. (<https://ethereum.org/en/energy-consumption/>)

Iredale, G. (2021, April 23). Blockchain Cryptography: Everything You Need to Know. 101 Blockchains. (https://101blockchains.com/blockchain-cryptography/?gclid=Cj0KCQjw4omaBhDqARIsADXULuUrS4eKADRBM2DpfiiZNJFGTlhPJwG8_0mHH4tUDyVOLRjokMMe27MaAn-3EALw_wcB)

Graglia, J. M., & Mellon, C. (2018). *Blockchain and property in 2018: At the end of the beginning, Future of Property Rights program*, New America, Washington, DC, USA.

Iredale, G. (2021c, May 16). Hashing and Digital Signature in Blockchain. 101 Blockchains. (<https://101blockchains.com/hasing-and-digital-signature-in-blockchain/>)

Jscrambler. (2020, August 12). Hashing Algorithms. Jscrambler Blog. (<https://blog.jscrambler.com/hashing-algorithms>)

Kempe, M. (2016). The Land Registry in the Blockchain: A Development Project with Lantmäteriet, Telia Company, ChromaWay and Kairos Future. White Paper, 42p.

Kempe, M. (2017). The land registry in the blockchain—Testbed: A development project with Lantmäteriet, Landshypothek Bank, SBAB, Telia company, ChromaWay and Kairos Future. White Paper, 75p.

Levy, A (2022). 5 Problems With Blockchain Technology | The Motley Fool. (<https://www.fool.com/investing/stock-market/market-sectors/financials/blockchain-stocks/problems-with-blockchain/>)

Liang, Y. C. (2020). Blockchain for dynamic spectrum management. In Dynamic Spectrum Management (pp. 121-146). Springer, Singapore.

Peersyst Media (28 Jun 2022) Gobierno de Colombia lanza el Registro Nacional de Tierras sobre la Blockchain de XRPL [Video], Peersyst (<https://www.youtube.com/watch?v=zQFtL8Aufns&t=3s>)

Propy (2022). About Propy. Propy. (<https://propy.com/browse/about/>)

Rain Blog. (2022, April 19). PoW, PoS, PoA The most popular blockchain consensus mechanisms. (<https://www.rain.com/learn/pow-pos-poa-the-most-popular-blockchain-consensus-mechanisms>)

Singh, P. (2020). Role of blockchain technology in digitization of land records in Indian scenario. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 614, No. 1, p. 012055). IOP Publishing.

Thakur, V., Doja, M. N., Dwivedi, Y. K., Ahmad, T., & Khadanga, G. (2020). Land records on blockchain for implementation of land titling in India. International Journal of Information Management, 52, 101940.

Verma, S. (2022, May 25) A Beginner's Guide to Understanding the Layers of Blockchain Technology. Blockchain Council. (www.blockchain-council.org/blockchain/layers-of-blockchain-technology.)

12. TERMES CLES ET DEFINITIONS

Gouvernance foncière : les institutions, processus et mécanismes décisionnels par le biais desquels différents types de droits fonciers réglementés dans le cadre de systèmes officiels et coutumiers

Insécurité foncière : Le sentiment de manque de confiance que les droits sur une propriété foncière, bien délimitée dans l'espace, ne soient pas contestables et soient enregistrés et surveillés par une autorité foncière.

Blockchain : protocole informatique, compilant plusieurs technologies, qui peut être programmé ou paramétré pour tracer l'existence ou l'échange de n'importe quel type de donnée ou valeur initiées par un écosystème externe.