MINISTÈRE DE L’ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR, DE LA RECHERCHE ET DE L’INNOVATION

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

SECRÉTARIAT GÉNÉRAL

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

UNIVERSITÉ JOSEPH KI-ZERBO (UJKZ)

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

INSTITUT BURKINABÈ DES ARTS ET MÉTIERS (IBAM)

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

**BURKINA FASO**

*La Patrie ou la Mort, nous Vaincrons*

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*



**MÉMOIRE POUR L’OBTENTION DU MASTER EN INFORMATIQUE**

OPTION : **INGENIERIE DES SYSTEMES D’INFORMATION EN ENTREPRISE**

THÈME :

**Authentification de documents administratifs**

**à l'aide de la blockchain**

**Réalisé par :** HIEN Zilèdem Pierre Canisius

**Soutenu publiquement le :** …/06/2025

**Jury de soutenance :**

**Président**  :

**Directeur de mémoire** : M. Yaya TRAORE, *MC en informatique*.

**Evaluateur** :

*Année académique : 2023-2024*

**DÉDICACE**

A ma fille, W. Candice Urielle !

**REMERCIEMENTS**

Nous tenons tout d’abord à rendre grâce à Dieu Le Tout Puissant, par qui nous vivons.

Au cours de ce cycle de Master, nous avons eu le privilège de collaborer avec des personnes de marques qui nous ont fourni tout le nécessaire afin que nous parvenions à ce résultat. C’est donc le lieu pour nous, à travers ces lignes, de leur traduire notre profonde gratitude.

Nos distincts remerciements vont particulièrement à l’endroit de :

* **Dr. Yaya TRAORE**, notre Directeur de mémoire, qui a bien voulu nous encadrer sans hésitation, et pour sa disponibilité malgré un calendrier chargé. Ses critiques constructives et ses partages d’expériences nous ont été d’une très grande utilité.
* **Pr. Sadouanouan MALO**, pour ses conseils bien avisés, ses multiples encouragements et accompagnements.
* **Monsieur le Directeur de l’IBAM, le corps professoral et tout le personnel de l’IBAM** pour la formation reçue et leur accompagnement.
* **notre famille, nos collègues et camarades** pour leurs soutiens et encouragements.
* **toutes les personnes dont les noms n'ont pu être cités.**

**RÉSUMÉ**

**ABSTRACT**

**TABLES DES MATIÈRES**

[**DÉDICACE** i](#_Toc188975614)

[**REMERCIEMENTS** ii](#_Toc188975615)

[**RÉSUMÉ** iii](#_Toc188975616)

[**ABSTRACT** iv](#_Toc188975617)

[**TABLES DES MATIÈRES** v](#_Toc188975618)

[**LISTE DES FIGURES** vii](#_Toc188975619)

[**LISTE DES TABLEAUX** viii](#_Toc188975620)

[**LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS** ix](#_Toc188975621)

[**CHAPITRE 1 : INTRODUCTION GENERALE** 2](#_Toc188975622)

[**1.1.** **Contexte et justification** 2](#_Toc188975623)

[**1.2.** **Problématique et hypothèses** 4](#_Toc188975624)

[**1.3.** **Objectif du sujet** 5](#_Toc188975625)

[**1.4.** **Résultats attendus** 5](#_Toc188975626)

[**1.5.** **Organisation du travail** 6](#_Toc188975627)

[**CHAPITRE 2 : TECHNOLOGIE BLOCKCHAIN** 9](#_Toc188975628)

[**2.1** **Historique et définitions de la blockchain** 9](#_Toc188975629)

[**2.1.1.** **Historique de la blockchain** 9](#_Toc188975630)

[**2.1.2.** **Définitions de la blockchain** 9](#_Toc188975631)

[**2.2** **Types de blockchain** 9](#_Toc188975632)

[**2.3** **Architecture de la blockchain** 9](#_Toc188975633)

[**2.3.1.** **Structure de la blockchain** 9](#_Toc188975634)

[**2.3.2.** **Fonctionnement de la blockchain** 9](#_Toc188975635)

[**2.4** **Smart contracts (contrats intelligent)** 9](#_Toc188975636)

[**2.5** **Protocoles de consensus** 9](#_Toc188975637)

[**2.6** **Exemple de blockchain : Ethereum** 9](#_Toc188975638)

[**CHAPITRE 3 : ÉTAT DE L’ART SUR L’AUTHENTIFICATION DES DOCUMENTS À L’AIDE DE LA BLOCKCHAIN** 12](#_Toc188975639)

[**3.1** **Authentification de documents** 12](#_Toc188975640)

[**3.2** **Méthodes d’authentification de documents** 12](#_Toc188975641)

[**3.3** **Travaux existants sur l’authentification de documents à l’aide de la blockchain** 12](#_Toc188975642)

[**3.4** **Discussion** 12](#_Toc188975643)

[**CHAPITRE 4 : APPROCHE D’AUTHENTIFICATION DE DOCUMENTS À L’AIDE DE LA BLOCKCHAIN** 14](#_Toc188975644)

[**CHAPITRE 5 : IMPLÉMENTATION DE L’APPROCHE** 16](#_Toc188975645)

[**5.1** **Protocole d’implémentation** 16](#_Toc188975646)

[**5.2** **Présentation de la solution** 16](#_Toc188975647)

[**5.3** **Discussion des résultats** 16](#_Toc188975648)

[**CONCLUSION ET PERSPECTIVES** 18](#_Toc188975649)

[**RÉFÉRENCES** 19](#_Toc188975650)

[**ANNEXES** 21](#_Toc188975651)

**LISTE DES FIGURES**

[**Figure 1** : Projet de chronogramme des travaux 6](#_Toc188975796)

**LISTE DES TABLEAUX**

**LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS**

|  |  |
| --- | --- |
| **CSS** | Cascading Style Sheets ou Feuilles de Style en Cascade |
| **HTML** | HyperText Markup Language ou Langage de balises pour l'hypertexte |
| **HTTP** | Hypertext Transfer Protocol ou Protocole de Transfert Hypertexte |
| **IBAM** | Institut Burkinabè des Arts et Métiers |
| **MC** | Maître de conférences |
| **P2P** | Peer-to-Peer |
| **PoA** | Proof of Autority ou Preuve d’Autorité |
| **PoS** | Proof of Stake ou Preuve d’Enjeu |
| **PoW** | Proof of Work ou Preuve de Travail |
| **SHA-256** | Secure Hash Algorithm (algorithme de hachage sécurisé) 256 bits |
| **UJKZ** | Université Joseph KI-ZERBO |
| **IDE** | Integrated Development Environment (environnement de développement intégré) |
| **API** | Application Programming Interface (interface de programmation d'application) |
| **JSON** | JavaScript Object Notation |

**CHAPITRE 1 :**

**INTRODUCTION GENERALE**

**CHAPITRE 1 : INTRODUCTION GENERALE**

La blockchain est une révolution technologique en plein essor au cours de ces dernières années. Reconnue pour ses propriétés de non-répudiation, de transparence, et de stockage décentralisée, elle présente de nombreux avantages dans plusieurs aspects de la vie humaine, et s’avère un moyen efficace pour améliorer les services publics gouvernementaux en particulier. En effet, dans le domaine des services gouvernementaux, il est de nos jours très récurent de retrouver sur la place publique numérique, des projets de documents administratifs et même des documents administratifs falsifiés, causant ainsi beaucoup de dommages. Malheureusement au Burkina Faso, ce phénomène prend une allure inquiétante. De ce fait, et sachant les possibilités qu’offre la blockchain, nous pensons que l’utilisation de cette technologie dans les processus d’authentification de documents administratifs, pourrait apporter plus de facilité, de fiabilité et de sécurité.

Dans ce chapitre, nous présentons le contexte général dans lequel est né le sujet, et le problème que l’on se propose de résoudre. En plus d’énoncer des hypothèses de recherche, nous y présentons les objectifs et les résultats attendus du sujet. Ce chapitre fourni également une vue d’ensemble du déroulement de notre étude.

* 1. **Contexte et justification**

La fiabilité de certains documents administratifs est de plus en plus controversées. Cela pourrait être dû en partie, au développement et à l’exploitation malsaine des multiples outils basés par exemple sur l’Intelligence Artificielle (IA). En effet, ce phénomène est caractérisé par le fait que de nombreux cas réels de faux « documents administratifs » ont été retrouvés sur des espaces numériques publics, mettant en déroute bon nombre de citoyens. Parmi ces cas, la majorité a nécessité des démentis officiels venant des structures étatiques que nous qualifions de « victimes » de faux. Par exemple, nous avons constaté entre autres que :

* le 22 janvier 2025, le Ministère de l’Économie, des Finances et de la Prospective, à travers sa page Facebook, a alerté le public comme suit : « *Des avis au public, faussement attribués au ministère de l'Economie et des Finances faisant état de l'ouverture de sessions d'investissement sur les cryptomonnaies sont diffusés sur les réseaux, aux fins de spoliation des citoyens. Le ministère de l'Economie et des Finances tient à rassurer l'opinion qu'il n'est nullement associé à cette initiative qui n'est autre que de l'arnaque et invite les citoyens à la vigilance et à dénoncer les auteurs et les complices de telles pratiques auprès des autorités compétentes.* ». Source : <https://www.facebook.com/share/p/1BP46UYXF9/>.
* le 16 août 2024, le Ministère de la Fonction Publique, du Travail et de la Protection Sociale publiait un démenti, signé DCRP/MFPTPS, sur sa page Facebook en ces termes « *Une loi portant statut général des agents publics et un projet de loi portant statut général des agents publics circulant sur les réseaux sociaux sont faux. Ces textes ne proviennent pas des services techniques du Ministère de la Fonction Publique, du Travail et de la Protection Sociale, ni du Gouvernement ou de l’Assemblée législative de Transition*». Source : <https://www.facebook.com/share/p/kHPydXy6A1zMniK1/?mibextid=oFDknk>.
* le 18 janvier 2024, le Service de Communication et des Relations Publiques de la Direction Générale des Douanes a, de même, publié un démenti sur sa page Facebook comme suit : « *Le Service de Communication et des Relations Publiques de la Direction Générale des Douanes informe le public que les communiqués, ci-dessous, sur une supposée vente aux enchères de véhicules n’émanent nullement des services des Douanes* ». Source : <https://www.facebook.com/share/p/15f4cKVZ3P/>.
* le 06 octobre 2023, le Ministère des Affaires Etrangères du Burkina Faso, à travers la DRCP/MAECR-BE, avait également publié sur sa page Facebook, ce qui suit : « *Depuis un certains temps un communiqué relatif à une bourse canadienne et impliquant le Ministère des Affaires Etrangères du Burkina Faso circule sur les réseaux sociaux. Le Ministère des Affaires Etrangères du Burkina Faso, apporte un démenti à ce communiqué qui est certainement l’œuvre d’individus mal intentionnés.* ». Source : <https://www.facebook.com/share/p/yqFV712VwsjcHxne/?mibextid=oFDknk>.
* le 30 novembre 2021, l’Institut national de la statistique et de la démographie (INSD) avait aussi démenti sur sa page Facebook, un faux recrutement d’étudiants dont il serait l’auteur. Source : <https://www.facebook.com/share/p/DYayYQThHP2NLDbF/?mibextid=oFDknk>.

Le plus souvent, une copie de chaque document en question a été marquée d’insigne de faux par les structures « victimes », puis annexée aux différents démentis. De ce fait, ces documents pourraient être classés « administratifs », car par définition, peut être vu comme document administratif, tout acte produit ou reçu, dans le cadre de la mission de service public, par l’Etat, les collectivités territoriales ainsi que par les autres personnes de droit public ou les personnes de droit privé chargées d’une telle mission [23]. Il peut s’agir d’un communiqué, un certificat (de prise /cessation de service, administratif, …), un diplôme, un extrait d’acte de naissance, etc.

Ainsi, au regard de la fréquence progressive et élevée de la falsification et/ou fraude de ces types de document, les citoyens, et même des acteurs de l’Administration posent de nombreuses préoccupations sur l’authenticité, ou l’originalité de tel ou tel acte (document) administratif qui se présente à eux.

A l’image de l’IA, la Blockchain est une technologie novatrice en pleine croissance. C’est une technologie de registre numérique distribué qui s’applique dans divers domaines. En outre, la blockchain étant immuable, décentralisée et transparente, pourrait être une alternative aux préoccupations susmentionnées.

C’est pourquoi, dans ce contexte générale, nous nous intéressons donc à l’utilisation de la technologie blockchain, notamment ses protocoles de consensus, de vérification et de validation, pour résoudre la question d’authentification des documents administratifs, afin de réduire les risques de fraudes et de falsifications de ces documents. D’où le thème du présent mémoire « ***Authentification de documents administratifs à l'aide de la blockchain*** » que nous nous proposons d’étudier.

* 1. **Problématique et hypothèses**

La falsification (ou fraude) documentaire est un problème d'actualité auquel est confrontée particulièrement l'administration publique. Afin de conserver leur image, d'assurer une bonne gouvernance et d'éviter l'usage du faux, les structures publiques et privées s'efforcent de vérifier elles-mêmes, manuellement les dossiers des usagers/clients. A défaut, elles délèguent et suivent une longue procédure de vérifications de ces dossiers par des tiers, moyennant des ressources (financières, humaines, temps, …) considérables. Elles sont également contraintes de rester plus ou moins en veille constante pour démentir d'éventuels faux documents à elles attribués. Cela diminue non seulement le temps consacré aux activités règlementaires des services administratifs, mais augmente les coûts de contrôle et les délais de prestations de services.

De ce fait, quel outil ou quelle technologie peut être mise en œuvre pour faire face à cette situation ? pour nous, la problématique qui se dégage, c’est comment la technologie blockchain peut-elle garantir l'authenticité des documents administratifs de façon plus sécurisée, transparente et efficace ? Autrement dit, comment la blockchain peut-elle aider les administrations à prévenir et/ou à détecter les tentatives de falsification de documents administratifs ? Cette technologie, peut-elle permettre à un service public destinataire d’un document administratif de savoir si oui ou non, il s’agit bien d’un document authentique ?

Pour traiter cette problématique, nous posons les hypothèses suivantes :

**Hypothèse 1** : l’intégration de la blockchain dans une solution d’authentification de documents permet de renforcer la sécurité et l’intégrité des documents administratifs.

**Hypothèse 2** : la blockchain permet de vérifier l’authenticité en temps réel des documents administratifs.

**Hypothèse 3** : l’utilisation de la blockchain dans le processus d’authentification de documents diminue les cas de falsifications et fraudes des documents administratifs.

Pour tester ou mesurer ces hypothèses, nous recourons à des variables tels que le temps moyen de vérification des documents administratifs avant et après l’implémentation de notre solution, et le niveau de satisfaction d’un échantillon de services administratifs. L’on pourra également s’appuyer sur le taux d'incidents de sécurité liés à la manipulation ou à la falsification des documents administratifs sur une période donnée.

* 1. **Objectif du sujet**

L’objectif principal de notre sujet est de proposer une approche d’authentification de documents administratifs à l’aide de la technologie blockchain.

De façon spécifique, il s’agit pour nous, de :

* faire une revue de littérature de la technologie blockchain et son utilisation dans les processus d’authentification des documents ;
* proposer une approche d’authentification de documents administratifs à l’aide de la blockchain ;
* implémenter une plateforme numérique basée sur l’approche et qui offre la possibilité de vérifier l’authenticité de documents administratifs.
  1. **Résultats attendus**

Les travaux devront aboutir à des résultats qui présentent la manière dont les structures pourront utiliser la blockchain pour résoudre, entre autres, leurs problèmes de falsification et de fraude documentaire. Concrètement, les résultats suivants sont attendus au terme de notre étude :

* une revue de littérature de la technologie blockchain et son utilisation dans les processus d’authentification des documents est faite ;
* une approche d’authentification de documents administratifs à l’aide de la blockchain est proposée ;
* une plateforme numérique basée sur l’approche et qui offre la possibilité de vérifier l’authenticité de documents administratifs est implémentée.
  1. **Organisation du travail**

Le présent mémoire est l’aboutissement de plusieurs travaux suivant un projet de chronogramme spécifique illustré par la figure 1 ci-dessous.



**Figure 1** : Projet de chronogramme des travaux

Ce mémoire est organisé en cinq (05) principaux chapitres. En dehors de ce présent **chapitre 1**, le reste du présent mémoire est structuré comme suit :

* **le chapitre 2 est intitulé « technologie blockchain ».** Il est consacré à l’historique et à la définition de la blockchain et ses concepts dérivés. En plus des types de blockchain, nous y présentons l’architecture de la blockchain, les contrats intelligent et les protocoles de consensus. Nous y présentons particulièrement un exemple de blockchain populaire, à savoir Ethereum.
* **le chapitre 3 a pour titre «  état de l’art sur l’authentification des documents à l’aide de la blockchain ».** Ce chapitre fait une synthèse des connaissances sur l’authentification de documents, les méthodes existantes d’authentification de documents, et les travaux existants sur les processus d’authentification de documents à l’aide de la blockchain. Nous menons, à la suite de cette synthèse, une discussion sur les travaux existants.
* **le chapitre 4 « approche d’authentification de documents à l’aide de la blockchain »** est dédié à la présentation de notre approche de résolution de la problématique. Nous y listons les étapes à suivre pour la mise en œuvre de notre solution. Nous y fixons aussi le type de document administratif sur lequel nous travaillons.
* **le chapitre 5 « implémentation de l’approche »** est réservé à la mise en œuvre concrète de notre approche. Nous y présentons le protocole d’implémentation à savoir l’environnement d’implémentation de la solution, les éléments de conception, les outils et technologies, etc. C’est également le lieu de présenter la solution développée et faire une discussion sur les résultats obtenus.
* **la conclusion** générale dans laquelle nous dressons un bilan des principales actions réalisées dans le cadre de nos recherches sur le sujet. Ce bilan est consolidé de perspectives.

Le présent mémoire prend fin avec la présentation des références bibliographiques/webographiques et des annexes.

Au terme de ce premier chapitre, nous avons décrit le contexte de notre sujet de recherches « *Authentification de documents administratifs à l’aide de la blockchain* ». Nous y avons également énoncé la problématique à résoudre, tout en formulant les hypothèses et les objectifs de recherche. Dans le chapitre suivant, nous faisons un état des connaissances sur la technologie blockchain.

**CHAPITRE 2 :**

**TECHNOLOGIE BLOCKCHAIN**

**CHAPITRE 2 : TECHNOLOGIE BLOCKCHAIN**

* 1. **Historique et définitions de la blockchain**

### **Historique de la blockchain**

### **Définitions de la blockchain**

* 1. **Types de blockchain**
  2. **Architecture de la blockchain**

### **Structure de la blockchain**

### **Fonctionnement de la blockchain**

* 1. **Smart contracts (contrats intelligent)**
  2. **Protocoles de consensus**
  3. **Exemple de blockchain : Ethereum**

Dans ce chapitre, nous avons présenté et défini les concepts de base et notions tels que le document administratif, l’authentification et la sécurisation, le consensus et la blockchain. Certains composants fondamentaux de la blockchain ont été également abordés.

Avec cette harmonisation de la compréhension de ces concepts, nous proposons dans le chapitre suivant, un état des connaissances sur la technologie blockchain et surtout l’application de celle-ci dans les processus d’authentification de documents.

**CHAPITRE 3 :**

**ÉTAT DE L’ART SUR L’AUTHENTIFICATION DES DOCUMENTS À L’AIDE DE LA BLOCKCHAIN**

**CHAPITRE 3 : ÉTAT DE L’ART** **SUR L’AUTHENTIFICATION DES DOCUMENTS À L’AIDE DE LA BLOCKCHAIN**

* 1. **Authentification de documents**

Définir ce que c’est.

* 1. **Méthodes d’authentification de documents**

Donner les méthodes ou techniques existante en matière d’authentification de documents.

Faire une comparaison (étude comparative) de ces techniques.

Pouvoir conclure que parmi tout ceci, c’est la blockchain qui est la mieux indiquer.

* 1. **Travaux existants sur l’authentification de documents à l’aide de la blockchain**
  2. **Discussion**

**CHAPITRE 4 :**

**APPROCHE D’AUTHENTIFICATION DE DOCUMENTS À L’AIDE DE LA BLOCKCHAIN**

**CHAPITRE 4 : APPROCHE D’AUTHENTIFICATION DE DOCUMENTS À L’AIDE DE LA BLOCKCHAIN**

Je liste les étapes (peut-être en sous points) pour la réalisation. Là je fixe le type de document administratif sur lequel nous travaillons.

**CHAPITRE 5 :**

**IMPLÉMENTATION DE L’APPROCHE**

**CHAPITRE 5 : IMPLÉMENTATION DE L’APPROCHE**

* 1. **Protocole d’implémentation**

Décrire l’environnement de dev, les outils utilisés pour l’implémentation, les éléments de conceptions.

* 1. **Présentation de la solution**

Je présente des parties de la solution implémentée.

* 1. **Discussion des résultats**

Dire si oui, non ou partiellement la solution proposée répond à la problématique. Est-ce que la solution répond aux hypothèses posées plus haut ?

**CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

**CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

**RÉFÉRENCES**

1. Ana BAKHOUM, “*La Blockchain pour la Sécurisation des E-livrets scolaires.*”, *2019.* Disponible sur <https://rivieresdusud.uasz.sn/handle/123456789/1803>. [Consulté le : 10-sept-2024].
2. GODEBARGE Ferréol, ROSSAT Romain, “*Principes clés d’une application blockchain*”, *2016*.
3. Stuart Haber et W. Scott Stornetta, “*How To Time-Stamp a Digital Document”*, *1990*. Disponible sur <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00196791>. [Consulté le : 17-sept-2024].
4. Dave Bayer, Stuart Haber et W. Scott Stornetta, “*Improving the Efficiency and Reliability of Digital Time-Stamping*”, *1992*. Disponible sur <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4613-9323-8_24>.[Consulté le : 17-sept-2024].
5. Le Monde.fr, “*La première blockchain de l’histoire date de 1995, et elle est imprimée sur papier*”*, 1er sept.2018.* Disponible sur <https://archive.wikiwix.com/cache/index2.php?url=https%3A%2F%2Fwww.lemonde.fr%2Fbig-browser%2Farticle%2F2018%2F09%2F01%2Fla-premiere-blockchain-de-l-histoire-date-de-1995-et-elle-est-imprimee-sur-papier_5349082_4832693.html#federation=archive.wikiwix.com&tab=url>. [Consulté le : 17-sept-2024].
6. Ramesh Subramanian et Theo Chino, “*The State of Cryptocurrencies, Their Issues and Policy Interactions*”, Journal of International Technology and Information Management: Vol. 24: N°3, Article 2, *2015*. Disponible sur <https://scholarworks.lib.csusb.edu/jitim/vol24/iss3/2/>. [Consulté le : 18-sept-2024].
7. Satoshi Nakamoto, “Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System”, p. 9. Disponible sur <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>. [Consulté le : 19-sept-2024].
8. Wikipédia, “*Blockchain*”*, 22 août 2024*. Disponible sur <https://fr.wikipedia.org/wiki/Blockchain#Histoire>. [Consulté le : 19-sept-2024].
9. Imran Bashir, “*Mastering Blockchain*”, *mars 2017*. Disponible sur <https://books.google.bf/books?hl=fr&lr&id=urkrDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=blockchain&ots=Ixal3edv1P&sig=Wvsy1GIGQmEXu1191tT78WpzlP8&redir_esc=y&pli=1#v=onepage&q=blockchain&f=false>. [Consulté le : 28-sept-2024].
10. Cryptoast.fr, “*Blockchain publique et blockchain privée : quelles différences ?* ”, *juin 2023*. Disponible sur <https://cryptoast.fr/differences-blockchain-publique-blockchain-privee/>. [Consulté le : 29-sept-2024].
11. 101Blockchains, “*Blockchain Consortium: Top 20 Consortia You Should Check Out*”, *février 2021*. Disponible sur <https://101blockchains.com/blockchain-consortium/>. [Consulté le : 02-oct-2024].
12. Adam Back et al., “*Enabling Blockchain Innovations with Pegged Sidechains*”, *octobre 2014, 25 pages*. Disponible sur <https://blockstream.com/sidechains.pdf>. [Consulté le : 02-oct-2024].
13. W3R.ONE MAGAZINE, “*Éléments Fondamentaux d'un Bloc dans la Blockchain*”*, 09 février 2024*. Disponible sur <https://w3r.one/fr/blog/blockchain-web3/architecture-blockchain/conception-de-blocs/elements-fondamentaux-bloc-blockchain>. [Consulté le : 21-oct-2024].
14. Oussama Abderraouf Ayadi, “*CHAPITRE III : État de l'art de la Blockchain*”*,* *juillet 2019, 45 pages*. Disponible sur <https://www.researchgate.net/publication/335174496_CHAPITRE_III_Etat_de_l%27art_de_la_Blockchain>. [Consulté le : 21-oct-2024].
15. Isyak Meirobie et al., “*Framework Authentication e-document using Blockchain Technology on the Government system*”, International Journal of Artificial Intelegence Research, Vol 6, N° 2, Décembre 2022, 12 pages. Disponible sur <http://ijair.id/index.php/ijair/article/view/294/pdf>. [Consulté le : 31-oct-2024].
16. ISO, “*Standards by ISO/TC 307 Blockchain and distributed ledger technologies*”. Disponible sur <https://www.iso.org/committee/6266604/x/catalogue/p/1/u/1/w/0/d/0>.
17. Larousse, “*Concensus*” sur <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/consensus/18357>. [Consulté le : 15-sept-2024].
18. crypto.com | university, “*Qu’est-ce que le consensus ? Guide du* *débutant*”. Disponible sur <https://crypto.com/fr/university/consensus-mechanisms-explained>. [Consulté le : 15-sept-2024].
19. Bit2Me Academy, “*Qu’est-ce qu’un arbre Merkle ?”,* avril 2023. Disponible sur <https://academy.bit2me.com/fr/que-es-un-arbol-merkle/>. [Consulté le : 18-dec-2024].
20. L’internaute, “*Concensus*”. Disponible sur <https://www.linternaute.fr/dictionnaire/fr/definition/consensus/#faq>. [Consulté le : 15-sept-2024].
21. Université Joseph KI-ZERBO, <https://www.ujkz.bf/>.
22. Andersbrown, “*Blockchain demo*”. Disponible sur <https://andersbrownworth.com/blockchain/hash>.
23. *Loi N° 051-2015/CNT du 30 août 2015 portant droit d’accès à l’information publique et aux documents administratifs.* Disponible sur <https://www.csc.bf/index.php/textes-de-reference/lois/item/76-loi-051-portant-sur-l-acces-a-l-information-publique>.

**ANNEXES**

**Annexe 1 : exemple d’arbre de Merkle dans Bitcoin**



**Source** : <https://cryptoast.fr/wp-content/uploads/2020/08/merkle-tree-general.png>

**Annexe 2 : circuit d’une transaction**

