

UNIVERSITE ASSANE SECK - ZIGUINCHOR



UFR Sciences Économiques et Sociales

Département Économie-Gestion

Mémoire pour l'obtention du Master en Management des Systèmes
d'Information Automatisés (MSIA)

Mention : Management des Systèmes d'Information

Spécialité : Management des Systèmes d'Information automatisés

SUJET : Contrats intelligents dans les innovations financières : avantages concurrentiels dans l'application du marché des céréales au Sénégal.

Présenté le 01/08/2024 par :

Mlle Yacine DIEDHIOU

Sous la direction de :

Pr Ndiouma NDOUR

M. Malaw NDIAYE

MEMBRES DU JURY :

Président : Pr Abdou Aziz NIANG - Maitre de conférences agrégé (UASZ)

Rapporteur : Dr Cheikh Oumar BALDE - Maitre-assistant (UASZ)

Rapporteur : Dr El Hadji Malick NDOYE - Maitre-assistant (UASZ)

Directeur Recherche : Pr Ndiouma NDOUR - Maitre de conférences agrégé (UASZ)

Co-Encadrant : M. Malaw NDIAYE - Maitre-assistant (UASZ)

Année universitaire : 2022-2023

Sommaire

Sommaire.....	i
Glossaire Anglais-français.....	ii
Sigles et abréviations.....	iii
Liste des tableaux.....	vi
Dédicace.....	vii
Remerciements.....	viii
Résumé et abstract.....	ix
Introduction générale.....	1
Chapitre 1 : La finance décentralisée entre économie numérique et mode de financement ..	5
Section 1 : Ecosystème de la finance décentralisée (DeFi).....	7
Section 2 : Les avantages et les risques de la DeFi.....	15
Section 3 : La blockchain : dimension et domaine d'application.....	19
Chapitre 2 : Smart contracts dans la finance décentralisée (DeFi) : fonctionnement et avantages comparatifs.....	23
Section 1 : Avantages des smart contracts en terme d'efficience et d'efficacité et ses limites.....	25
Section 2 : Comparatifs de coûts associés aux finances décentralisée, centralisée et traditionnelle.....	30
Chapitre 3 : Présentation du paysage numérique du Sénégal.....	47
Section 1 : Dimension et potentiel numérique.....	49
Section 2 : Défis et perspectives sur le marché sénégalais.....	52
Chapitre 4 : Procédés techniques et schémas comparatifs entre finance décentralisée, finance traditionnelle et finance centralisée.....	66
Section 3 : Fonctionnement et structure de la TradFi, de la DeFi et de la CeFi.....	68
Section 4 : Différence entre TradFi, DeFi et CeFi.....	75
Section 5 : Etude comparative des schémas structurels organisationnels de la TradFi, de la DeFi et de la CeFi.....	77
Chapitre 5 : Implémentation d'un processus de smart contract dans le marché des céréales.....	85
Section 6 : Outils et langages de développement des smart contracts.....	87
Section 7 : Analyse et conception du système.....	96
Conclusion générale.....	107
Bibliographie.....	A
Annexes.....	F
Table des matières.....	H

Glossaire Anglais-français

- DeFi : Decentralized Finance – Finance Décentralisée
- CeFi : Centralized Finance – Finance Centralisée
- TradFi : Traditionnal Finance – Finance Traditionnelle
- TVL : Total Value Lock – Valeur totale verrouillée
- DEX : Decentralised Exchanges – Echange Décentralisée
- AAM : Automated Market Makers – Teneurs de Marché automatisés
- DApps : Decentralized Applications – Applications décentralisées
- PoS : Proof of Stake – Preuve de Participation
- DLT : Distributed Ledger Technology – La technologie des registres distribués
- KYC : Know Your Costumer – Connaitre Son Client
- PoW : Proof of Work – Preuve de participation
- DAO : Decentralised Autonomes Organization – Organisation Autonome Décentralisée
- CEX : Centralize Exchange – Echange Centralisée
- AML : Anti-Money Laundering – Anti-Blanchiment d’argent
- EVM : Ethereum Virtual Machine – machine Virtuelle d’Ethereum

Sigles et abréviations

- [1]. **CBFO : Organisations Financières à base Communautaire**
- [2]. **ABA : Africa Blockchain Alliance**
- [3]. **ABI : Africa Blockchain Institute**
- [4]. **VARA : Virtual Assets Regulatory Authority**
- [5]. **FMI : Fonds Monétaire International**
- [6]. **SEC : Securities and Exchange Commission**
- [7]. **CAODFC : Centre d'Analyse des Opérations et Déclarations Financières du Canada**
- [8]. **APY : Annual Percentage Yield**
- [9]. **API : Interface Programmation d'Application**
- [10]. **IRS : Internal Revenue Service**
- [11]. **P2P : Peer To Peer**
- [12]. **TIC : Technologies de l'Information et de la Communication**
- [13]. **ANSD : Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie**
- [14]. **NRI : Network Readiness Index**
- [15]. **PSE : Plan Sénégal Émergent**
- [16]. **CTIC : Croissance des Technologies de l'Information et de la Communication**
- [17]. **PIB : Produit Intérieur Brut**
- [18]. **SN2025 : Stratégie Sénégal Numérique 2025**
- [19]. **PTN : Parc des Technologies Numériques**
- [20]. **ISI : Institut Supérieur d'Informatique**
- [21]. **UGB : Université Gaston Berger**
- [22]. **PU : Population Urbaine**
- [23]. **PR : Population Rurale**
- [24]. **ATFS : Abonnement Téléphone Fixe au Sénégal**
- [25]. **ADC : Abonnement Données Cellulaires**
- [26]. **SIS : Serveurs Internet Sécurisés**
- [27]. **BTC : Bitcoin**
- [28]. **CEDEAO : Communauté Economique des États de l'Afrique de l'Ouest**
- [29]. **NFT : Tokens Non Fongibles**
- [30]. **IDE : Environnements de Développement Intégrés**
- [31]. **CA : Contract Account**
- [32]. **EOA : Externally Owned Account – Comptes Détenus en Externes**

Liste des figures

Figure 1 : Valeur Totale des actifs Verrouillés (TVL) dans les protocoles DeFi, en (Milliards d'USD)	10
Figure 2 : Image illustrative du processus de déroulement d'une transaction blockchain	21
Figure 3 : Capitalisation boursière de la DeFi de 2020 au 15 Avril 2024 en Md \$US	33
Figure 4 : Capitalisation boursière de la DeFi de 2020 au 15 Avril 2024 en Md \$US	35
Figure 5 : Représentation graphique de la capitalisation boursière de la CeFi de 2020 à 2024	38
Figure 6 : L'évolution du volume des transactions de la CeFi de 2020 à 2024.....	39
Figure 7 : Représentation graphique de la capitalisation boursière de la finance traditionnelle de 2020 à 2024	42
Figure 8 : Diagramme en barres illustrant le niveau d'accès à l'électricité de la population urbaine et rurale sénégalaise sur la période de 2017 à 2021.	53
Figure 9 : Courbe d'évolution du nombre d'abonnés aux téléphone fixes de 2018 à 2022.....	54
Figure 10 : Courbe d'évolution du nombre d'abonnés aux téléphone fixes de 2018 à 2022... ..	55
Figure 11 : Diagramme export/import des services TIC	56
Figure 12 : Courbe d'évolution du nombre de serveurs sécurisés au Sénégal de 2016 à 2020 ..	57
Figure 13 : Courbe d'évolution du marché céréalier du Sénégal.....	64
Figure 14 : Schéma structure organisationnelle de la TradFi.....	69
Figure 15 : Schéma structure organisationnelle de la DeFi	71
Figure 16 : Schéma de la structure organisationnelle de la CeFi	73
Figure 17 : Schéma structure organisationnelle de la TradFi, DeFi et de la CeFi	77
Figure 18 : schéma représentatif des avantages et inconvénients des acteurs du schéma structurel de la TradFi	79
Figure 19 : Schéma représentatif des avantages et inconvénients des acteurs du schéma structurel de la DeFi	80
Figure 20 : Avantages et inconvénients des acteurs du schéma structurel de la CeFi	82
Figure 21 : Image illustrative d'un processus de transaction Ethereum	93

Figure 22 : Structure d'une transaction.....	95
Figure 23 : Structurel simple d'un smart contracts	97
Figure 24 : Diagramme de cas d'utilisation des smart contracts	97
Figure 25 : Diagramme de classe d'un smart contract.....	98
Figure 26 : Diagramme de séquence	99
Figure 27 : Interface Remix IDE.....	101
Figure 28 : Création fichier de developpement sur Remix	101
Figure 29 : Déploiement du smart contract.....	102
Figure 30 : Fenêtre présentant les differentes fonctionnalités du smart contract.....	102
Figure 31 : Interface de saisies des commandes et d'entré l'adresse de l'acheteur	103
Figure 32 : Interface de visualisations du montant total et des termes du contrat	104
Figure 33 : Resultat d'execution d'un smart contrat	105
Figure 34 : Illustration d'action de retrait	106

Liste des tableaux

Tableau 1 : Top 10 des pays utilisant DeFi	18
Tableau 2 : Domaines d'application de la blockchain	22
Tableau 3 : Récapitulatif de la Capitalisation Boursière de la DeFi de 2020 à 2024.....	32
Tableau 4 : Récapitulatif de l'évolution du volume des transactions de la DeFi de 2020 à 2024, basé sur les données extraites sur DeFiLlama.....	34
Tableau 5 : Récapitulatif de la capitalisation boursière de la CeFi de 2020 à 2024	38
Tableau 6 : Récapitulatif du volume des transactions de la CeFi de 2020 à 2024.....	39
Tableau 7 : Récapitulatif de la capitalisation boursière des institutions financières traditionnelles en milliards de dollar du 1er trimestre 2020 au 1er trimestre 2024.....	42
Tableau 8 : Etude comparative des avantages de la DeFi, de la CeFi et de la TradFi.	43
Tableau 9 : Performance céréales (Riz paddy, Mil, Mais, Sorgho, Fonio) Sénégal 2015 à 2019	64
Tableau 10 : Récapitulatif des différences entre TradFi, DeFi et CeFi.....	76
Tableau 11 : Top 10 des plateformes d'exécution des smart contracts	90
Tableau 12 : Etude des avantages et des inconvénients des principaux outils de développement des smart contracts	91

Dédicace

Je dédie ce travail

A ma mère, Adama MARIA, dont l'amour et le souvenir continuent de me guider chaque jour. Bien que vous ne soyez plus physiquement parmi nous, votre esprit et vos enseignements vivent en moi. Vous avez été ma première source d'inspiration et de force. Ce mémoire est dédié à votre mémoire et à tout ce que vous m'avez inculqué.

A mon père, Yaya DIEDHIOU,

À mes tuteurs, Aissatou DIEDHIOU et Mamadou BADJI.

Remerciements

Je rends grâce à Dieu de m'avoir donné la force et le courage d'écrire ce mémoire.

Avant tout, j'aimerais adresser une mention particulière à M. Ndiouma NDOUR, professeur de gestion et M. Malaw NDIAYE enseignant chercheur à l'UASZ. En leur qualité respective d'encadrant et Co-encadrant de mémoire, ils ont su mettre à ma disposition de nombreuses ressources. Leur disponibilité, leur patience et leurs conseils judicieux ont guidé mon travail et stimulé ma réflexion de manière inestimable.

Je remercie chaleureusement les éminents membres du jury de ma soutenance à savoir Pr Abdou Aziz NIANG, Dr Cheikh Omar BALDE et Dr El Hadji Malick NDOYE pour avoir accepté de faire partie de ce processus. Leurs remarques et suggestions ont été d'une grande valeur et m'ont permis d'améliorer la qualité de ce travail.

Je souhaite exprimer ma plus profonde gratitude envers ceux qui ont grandement contribué à mon parcours académique et professionnel. Plus particulièrement à mon ami, mon jumeau, Papa Lo DRAME.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance aux personnes suivantes pour leur aide dans la réalisation de ce mémoire : Etienne D FAYE, Astou DIEDHIOU, Fatou DIEDHIOU, Seyni DIEDHIOU, Younouss DIEDHIOU, Ablaye DIEDHIOU, Seyndina DIEDHIOU, Ibrahima S DIEDHIOU, Mariama DIEME, Khadija BALDE, Dalanda BODIAN, Khadim GUEYE, Bassirou BADJI, Aliou DIAGNE, Mariétou MANGA, Yaram M CAMARA, Fatou COLY, Ousseynou SARR, Bacary MANCADIANG, Saliou DIOUF, Talla CISSE, Tacko DIEDHIOU, Lamine BADJI, Souleye BADJI, Rabi BADJI, Mariama KONATE, Marie Santhiou MENDY, Gora BA, Fabintou THIAO, Moussa SOW, Maguette AW, Omar SANE, Nassourou SOW, Deny DIASSY, Djibril DIALLO, Mor TOURE, Aida SARR, Marie Madeleine NDIAYE, Elysée DIONOU, Agnès DIOUF, Ndeye Fatou MBAYE, Ami Colé DRAME, leur soutien et leur contribution ont été inestimables et ont fait de cette expérience un succès.

Enfin, à tous les étudiants ressortissants de Mboro à Ziguinchor, à tous les étudiants de MSIA et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin. Votre soutien et vos encouragements ont été une source d'inspiration constante. Je ne peux terminer sans exprimer ma gratitude envers ma famille d'accueil, qui a véritablement été une seconde famille pour moi. Leur assistance, et leur gentillesse ont été inestimables tout au long de ce parcours.

Résumé et abstract

a) Résumé

Les innovations financières, telles que la finance décentralisée (DeFi) et la finance centralisée (CeFi), offrent des services similaires à la finance traditionnelle, mais de manière plus automatique et transparente. La DeFi utilise la technologie blockchain et les contrats intelligents pour fournir des services financiers efficace et transparente sans intermédiaires, tandis que la CeFi combine cryptomonnaies et monnaies fiduciaires sous un cadre régulé avec des coûts souvent plus élevés et une transparence moindre.

Cette étude examine en profondeur la DeFi pour en dévoiler les forces, telles que son accessibilité et son innovation, ainsi que ses faiblesses, incluant les risques de sécurité et autres. Elle explore ensuite le rôle fondamental de la blockchain et des contrats intelligents dans le fonctionnement de la DeFi. Une comparaison détaillée est effectuée entre la DeFi, la CeFi et la Finance Traditionnelle (TradFi), mettant en lumière les différences clés en termes de coûts, de structure et d'efficacité. L'étude se termine par une analyse spécifique de la manière dont ces trois systèmes financiers pourraient s'adapter et évoluer dans le contexte économique et financier du Sénégal. Ce cadrage fournit des recommandations pour l'intégration et le développement futur de ces modèles au sein du paysage financier sénégalais.

Les contrats intelligents jouent un rôle clé dans la DeFi, en permettant l'exécution automatique et sécurisée des transactions selon des conditions prédéfinies, ce qui renforce l'efficacité et la confiance dans ce nouvel écosystème financier. Ces smart contracts représentent des outils innovants et efficaces pour automatiser et sécuriser des transactions. En les appliquant au marché céréalier du Sénégal, nous visons à améliorer la transparence et la confiance entre les acteurs du marché tout en réduisant les coûts de transaction. Cette initiative pourrait révolutionner la façon dont les transactions sont effectuées dans ce secteur, en offrant une solution moderne et fiable adaptée aux besoins spécifiques du marché céréalier sénégalais.

Mot clés : Finance Décentralisée ; contrats intelligents ; innovations financières ; Avantages concurrentiels ; Marché des céréales.

b) Abstract

Financial innovations, such as decentralized finance (DeFi) and centralized finance (CeFi), offer services similar to traditional finance, but in a more automatic and transparent way. DeFi uses blockchain technology and smart contracts to provide efficient and transparent financial services without intermediaries, while CeFi combines cryptocurrencies and fiat currencies under a regulated framework with often higher costs and less transparency.

This study takes an in-depth look at DeFi to reveal its strengths, such as its accessibility and innovation, as well as its weaknesses, including security risks and others. It then explores the fundamental role of blockchain and smart contracts in the functioning of DeFi. A detailed comparison is made between DeFi, CeFi and Traditional Finance (TradFi), highlighting key differences in structure, costs and efficiency. The study ends with a specific analysis of how these three financial systems could adapt and evolve in the economic and financial context of Senegal. This framework provides recommendations for the integration and future development of these models within the Senegalese financial landscape.

Smart contracts play a key role in DeFi, enabling the automatic and secure execution of transactions under predefined conditions, increasing efficiency and trust in this new financial ecosystem. These smart contracts represent innovative and effective tools for automating and securing transactions. By applying them to the Senegal grain market, we aim to improve transparency and trust between market players while reducing transaction costs. This initiative could revolutionize the way transactions are carried out in this sector, by offering a modern and reliable solution adapted to the specific needs of the Senegalese cereals market.

Keywords: Decentralized Finance; smart contracts; financial innovations; competitive advantages; Cereals market.

Introduction générale

Les innovations financières sont au cœur de la technologie à l'heure actuelle. Elles ont révolutionné le monde de la finance en apportant des inventions et des innovations incroyables. La finance décentralisée (DeFi) est un exemple remarquable d'innovation technologique financière. Ainsi, la finance décentralisée se traduit par un écosystème d'applications décentralisées qui fournissent des services financiers construits sur des réseaux *Peer to Peer* (pair à pair) sans tiers de confiance (Chen et Bellavitis - 2019 - Decentralized Finance Blockchain Technology and t.pdf, s. d.). Les applications financières décentralisées sont une nouvelle génération d'applications destinées aux consommateurs, composées de smart contracts, déployées sur des technologies blockchains sans autorisation.

L'une des particularités de la DeFi réside dans l'utilisation d'une infrastructure blockchain qui présente une décentralisation, une désintermédiation et une automatisation. Selon ces principes, les fonctions traditionnellement fournies par des entités centralisées sont désormais remplacées par l'utilisation de programmes automatisés, sous la forme de protocoles, et de « contrats intelligents » (ou smart contracts), accessibles en théorie à tout utilisateur et sans Intermédiaire.

La blockchain est une base de données qui stocke des transactions qui ne peuvent plus être modifiées une fois enregistrées. Elle permet de stocker et de transmettre des données sans recourir à un organe de contrôle. Le secteur financier est considéré comme l'un des principaux utilisateurs de cette technologie.

Afin de rendre les services de la finance décentralisée automatique, il est essentiel d'avoir des contrats intelligents. Ces derniers sont devenus une autre couche fondamentale de la nouvelle architecture DeFi. Les contrats intelligents sont des accords basés sur des logiciels qui n'impliquent pas d'intervention humaine pour l'exécution (Vigliotti, 2021) ; elles sont désormais implémentées sous forme d'instructions de code source qui sont généralement stockées et exécutées sur la technologie blockchain. Il s'agit aussi des programmes informatiques exécutés sur une blockchain qui contrôle les actifs numériques et automatise les termes des accords entre acheteurs et vendeurs, ou prêteurs et emprunteurs. Ainsi l'opération d'un smart contract est continue dans le temps et ne nécessite pas d'intervention humaine pour en assurer le fonctionnement. Les contrats intelligents, qui sont des protocoles très sécurisés et transparent dans les réseaux blockchains, font l'objet d'une vérification continue de la part des développeurs pour détecter des potentielles failles et les corriger. C'est ce qui rend le réseau presque inviolable et le met à l'abri de toutes menaces. Les smart contracts avec

l'appui de la technologie blockchain, favorise l'essor de la finance décentralisée, les transactions de pair à pair.

Ainsi, contrairement à l'Afrique, la plupart des pays européens et asiatiques ont adopté ces technologies novatrices dans leurs activités. En Afrique, le modèle traditionnel reste largement utilisé dans de nombreux domaines, avec les échanges entre vendeurs et acheteurs, la gestion des contrats, des assurances, et autres processus toujours gérés par des tiers. Cela peut entraîner des pertes de temps et des coûts supplémentaires. Ce qui nous incite à faire une étude approfondie de la finance décentralisée et à envisager l'intégration des contrats intelligents en Afrique, notamment dans le secteur des céréales au Sénégal.

1.2 - Problématique

C'est ainsi qu'on se pose les questions de s'avoir : **Comment la finance décentralisée (DeFi) peut-elle transformer le paysage financier traditionnel et quels sont les défis à surmonter pour une adoption des smart-contracts sur le marché des céréales au Sénégal ?**

Pour répondre à ce questionnement, nous avons élaboré une série de questions spécifiques notamment :

- Qu'est-ce que la finance décentralisée ?
- Quels sont les avantages et les inconvénients de la finance décentralisée ?
- Quel est le rapport entre la finance décentralisée et les smart contracts ?
- Quels avantages spécifiques, les contrats intelligents apportent-ils au marché céréalier du Sénégal ?

1.3 - Objectifs de la recherche

Pour répondre à ces questionnements, nous nous proposons les objectifs suivants.

L'objectif général : est de montrer l'importance de la finance décentralisée et l'impact des smart contracts dans le marché céréalier. Cet objectif général, nous mène aux objectifs spécifiques suivants :

- Déterminer le potentiel lié à l'adoption de la finance décentralisée.
- Montrer les bénéfices économiques et opérationnels que les smart contracts peuvent apporter au secteur céréalier du Sénégal.
- Evaluer les défis et les obstacles de l'implémentation des smart contracts au Sénégal.

1.4 - Les hypothèses de l'étude

Les hypothèses générales de la recherche sont :

H1 : La finance décentralisée présente un avantage concurrentiel positif par rapport à la finance classique

H1.1 : la finance décentralisée concurrence positivement la finance classique

H1.2 : les contrats intelligents favorisent la décentralisation financière

H2 : les contrats intelligents « smart-contracts » bonifient les marchés céréaliers du Sénégal

H3 : l'implémentation des contrats intelligents « smart-contracts » permet de structurer les avantages et inconvénients sur le marché des céréales du Sénégal

1.5 - Intérêt et pertinence de la recherche

Cette recherche vise d'abord, à sensibiliser sur la finance décentralisée en termes d'avantage et d'inconvénient. Puis à montrer le potentiel des smart-contracts en termes d'efficacité, de transparence et de compétitivité sur le marché céréalier du Sénégal.

1.6 - Plan

Pour mieux éclairer les lanternes au tour des innovations financières, de la blockchain et des smart contracts, nous avons scindé notre travail en deux (2) parties distinctes.

La première partie de notre travail commence par définir et expliquer la finance décentralisée (DeFi). Nous explorerons en détail la DeFi, en discutant de son importance dans le secteur financier, de ses opportunités ainsi que les risques associés. Ensuite, nous aborderons les smart contracts dans les DeFi puis parler de la blockchain. Enfin, nous effectuerons une étude comparative entre la finance décentralisée, la finance centralisée (CeFi) et la finance traditionnelle (TradFi), en mettant l'accent sur les aspects de coût, de fiabilité et d'efficacité.

La deuxième partie se focalise sur la présentation du paysage numérique du Sénégal. Ensuite, nous aborderons les procédés techniques et les schémas comparatifs entre la DeFi, la CeFi et la TradFi. Enfin nous implémenterons un processus de smart contract dans le marché des céréales du Sénégal.

Pour conclure, nous proposerons de nouvelles perspectives visant à approfondir l'exploration de la finance décentralisée, des smart contracts et de leurs applications sur le continent africain.

PARTIE 1 : LA FINANCE
**DECENTRALISEE POTENTIALITE
ET DOMAINES D'APPLICATION**

CHAPITRE 1: LA FINANCE DÉCENTRALISÉE
ENTRE ÉCONOMIE NUMÉRIQUE ET MODE DE
FINANCEMENT

Introduction

La finance décentralisée, communément désignée sous l'acronyme DeFi, représente une révolution majeure dans le domaine financier contemporain. Contrairement au système financier traditionnel centralisé, où les institutions telles que les banques jouent un rôle central dans la médiation des transactions et la gestion des actifs, la DeFi propose un cadre où ces fonctions sont déléguées à des protocoles automatisés et à des contrats intelligents opérant sur des blockchains publiques comme Ethereum. Ce paradigme émergent permet non seulement une accessibilité financière sans précédent pour les individus du monde entier, mais il promet également une transparence accrue, une résilience aux censures et une efficacité opérationnelle optimisée. Cette section explore les fondements de la DeFi, ses avantages et risques ainsi que l'accroissement de cette technologie transformative au niveau mondial.

Section 1 : Ecosystème de la finance décentralisée (DeFi)

Cette section consiste à définir la finance décentralisée tout en mettant en évidence les raisons pour lesquelles elle a été conçue, leur tendance à l'heure actuelle ainsi que ses avantages et risques.

1.1 - L'environnement de la finance décentralisée (DeFi)

La crise financière de 2008 met bien en évidence certains des problèmes des marchés de la finance traditionnelle (*Traditional Finance* TradFi). L'asymétrie des informations, les croyances et les conflits d'intérêts ont donné lieu à une combinaison désastreuse qui a abouti à l'un des plus grands krachs boursiers, à des institutions considérées comme trop grandes pour faire faillite, à l'échec et à de nombreuses personnes perdant leur emploi (Mishkin - 1992 - *Anatomy of a financial crisis.pdf*, s. d.). Suite à la crise financière de 2008 sombrant le monde dans une catastrophe économique, le besoin d'un système révolutionnaire s'est fait ressentir. Certaines personnes se sont concentrées sur la recherche d'une solution aux problèmes à venir. C'est ainsi qu'un groupe de personnes ou un auteur s'identifiant sous le pseudonyme de Satoshi Nakamoto a publié sur la même année un article qui décrit un nouveau système de paiement électronique Peer to Peer, Bitcoin (Kirvesoja - 2022 - *Advantages and disadvantages of decentralized fina.pdf*, s. d.). Le Bitcoin, c'est la première monnaie électronique à voir le jour permettant ainsi d'effectuer des transactions de personne à personne sans intermédiaire. La naissance du Bitcoin constitue un premier pas vers un monde où la finance n'est pas gérée par des personnes. L'objectif est de créer un monde financier transparent et libre où les transactions se feront sans l'intervention d'un tiers. Ce phénomène est ce qu'on appelle la finance décentralisée. Ainsi il est judicieux de se poser la question à savoir ce que la finance décentralisée.

a) Définition de la finance décentralisée

La finance décentralisée (DeFi) est un écosystème d'applications autonomes et transparentes construit sur des réseaux Blockchains (voir chapitre II) sans confiance qui ne dépend d'aucune institution financière pour fonctionner. C'est une technologie novatrice qui n'est soumise à aucune règle, elle est accessible à tout le monde disposant d'un smartphone ou d'un ordinateur avec une connexion internet, qu'ils soient riches ou pauvres. La règle de la discrimination est éliminée, permettant à certains de bénéficier du privilège d'ouvrir un compte et à d'autres non. De plus, avec DeFi, les transactions se font de manière directe, sans avoir besoin d'intermédiaires pour l'exécution et en un temps-record. Étant donné que les

applications décentralisées ne sont pas liées à une infrastructure, elles ne génèrent pas de coûts d'immobilisation ni de personnel, ce qui réduit considérablement les frais de transaction, quel que soit l'emplacement de la personne. Ainsi, d'autres définitions de la finance décentralisée ont émergé de la littérature :

- La finance décentralisée est une forme d'infrastructure financière qui utilise la technologie blockchain pour fournir des services financiers sans faire appel à des intermédiaires.
- La finance décentralisée comme la transformation de produits financiers traditionnels en produits qui fonctionnent sans intermédiaire via des contrats intelligents (voir chapitre II) sur une blockchain (Ozili - 2022 - Decentralized finance research and developments ar.pdf, s. d.).
- Maia et Vieira dos Santos (2021) définissent la finance décentralisée comme un écosystème d'applications décentralisées qui fournissent des services financiers construits sur des réseaux Peer to Peer et sans confiance.

En résumé, on peut retenir que DeFi est un système financier autonome qui s'exécute de pair en pair sans confiance et sans autorité de régularisation de marché. C'est un organisme financier basé sur la Blockchain sans confiance pour faciliter l'interaction entre vendeur et acheteur ou prêteur et emprunteur. Au fil des ans, les gens ont réalisé le potentiel de cette technologie et ils ont commencé à l'utiliser de façon significative. Début 2020, on a constaté une montée en puissance de la valeur totale verrouillée (ou *total value lock TVL* en anglais) dans les applications décentralisées. La TVL est passée de 675 millions de dollars à 40 milliards au premier semestre de l'année suivante (Jensen et al. - 2021 - An Introduction to Decentralized Finance (DeFi).pdf, s. d.).

Il convient de noter qu'il existe un autre écosystème similaire à la finance décentralisée, mais qui utilise également des monnaies fiduciaires : la finance centralisée (CeFi). La CeFi est un système financier restreint, proche de la finance traditionnelle, évoluant dans un environnement où les transactions sont centralisées et gérées par des tiers de confiance. Elle englobe les services qui relient le système de paiement traditionnel à l'écosystème décentralisé des cryptomonnaies (Qu'est-ce que la CeFi ?, s. d.-a).

Tableau comparatif entre DeFi et CeFi

Eléments	DeFi	CeFi
Garde de fonds	L'utilisateur a l'entière autorité sur la garde des fonds.	Hors de la garde de l'utilisateur.
Services disponibles	Emprunts, prêts, paiement, échanges	Trading, emprunts, Fiat-to-crypto, paiement et prêts
Informations personnelles	Preuve de Travail	Cadre enfichable
Sécurité	Pas de responsable des fonds	Vulnérable en cas de ponts de sécurité sur l'échange
Service client	N/A (Not Applicable or Available)	Fourni par des changements majeurs.
Facteur de risque	La sécurité repose sur la technologie que vous utilisez	Les échanges centralisés sont responsables de la sécurité

Source : (Takyar, 2020)

b) Tendances et activités de la finance décentralisée dans le monde

Les tendances actuelles concernant l'utilisation de la finance décentralisée et les divers services qu'elle propose sont présentés dans cette partie. D'après une enquête sur la DeFi, les données relevées sur le marché montrent que près de 2 000 protocoles DeFi auraient été dénombrés début 2023, soit plus du double du nombre de protocoles (855) enregistrés début 2022. Parmi ces protocoles, environ 650 seraient des protocoles d'échange décentralisés (*Decentralised Exchanges* ou DEX) ou des teneurs de marché automatisés (*Automated Market Makers* ou AMM). Il existerait également plusieurs milliers d'applications décentralisées (*Decentralized Applications* Dapps) donnant accès à ces protocoles. Une estimation globale du nombre exact de DApps est difficile à établir en raison du manque de cohérence entre diverses sources.

Certaines sources indiquent qu'il y aurait plus de 3 500 DApps au total, tandis que le réseau blockchain Polygon indiquait fin octobre 2022 que plus de 53 000 DApps avaient été développées sur son réseau. Le volume d'activité de la DeFi se mesure grâce à l'indicateur de la TVL qui correspond à la valeur totale des actifs déposés dans des smart contracts de protocoles DeFi à un instant donné. Fin janvier 2023, la TVL des protocoles DeFi était évaluée approximativement à 80 Mds \$USD, en baisse par rapport à un maximum de près de 258 Mds \$USD fin 2021, à la suite de la chute de la valeur des crypto-actifs de près de 60 % au 1er semestre 2022 (voir Graphique 1 ci-dessous).

Ethereum représente à lui seul 75 milliards de dollars en TVL, avec les cas d'utilisation les plus capitalisés étant les prêts garantis, constituant environ 54 % du TVL, et les échanges décentralisés (DEX), constituant environ 31 % du TVL en avril 2022 (SoK:

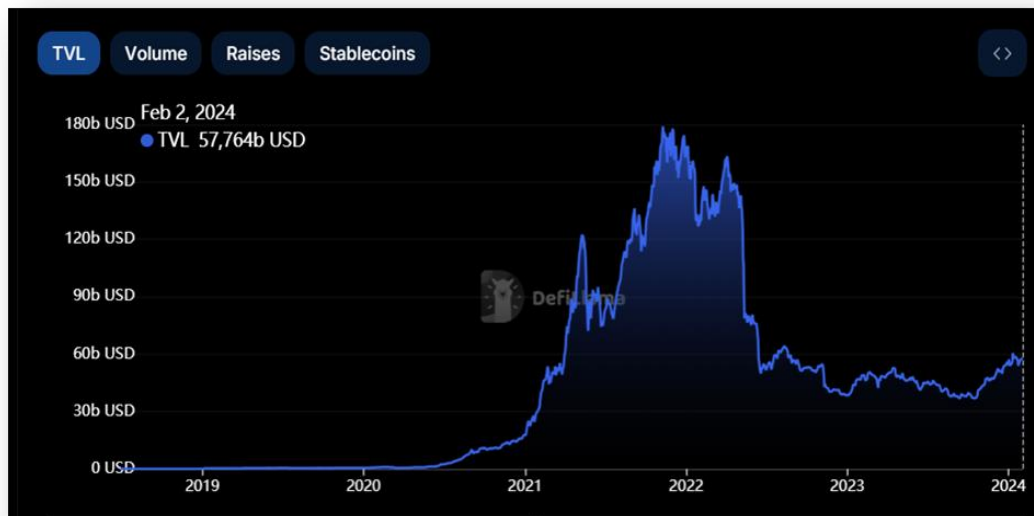


Figure 1 : Valeur Totale des actifs Verrouillés (TVL) dans les protocoles DeFi, en (Milliards d'USD)

Source : (DefiLlama, 2024)

Des changements notables ont été observés dans le secteur de la DeFi au cours de ces dernières années. Les TVL ont commencé à grimper à partir de 2021, comme le montre le graphique ci-dessus. Le marché continuait à susciter l'intérêt des investisseurs, ce qui entraînait une hausse de sa TVL. La chute du protocole est constatée seulement au dernier trimestre de l'année 2022, en raison de la faillite du crypto Terra/Luna qui a entraîné une perte considérable d'argent. La courbe commence à se régresser jusqu'en 2023 où on observe presque une tendance constante sur la courbe d'évolution. La crainte de perdre leur argent a poussé de nombreux investisseurs à retirer leur investissement, ce qui a entraîné une baisse considérable de la TVL.

1.2 - L'offre technique et les acteurs

Les activités générées par l'écosystème DeFi sont variées, tout comme celles de la finance traditionnelle, mais avec des différences notables. Certains de ses activités sont répertoriés ci-dessous.

a) Les protocoles de prêt-emprunt collatéralisés (lending)

Il s'agit de la principale activité, en TVL « nette », au sein de la DeFi (20230403_finance_decentralisee_desintermediee_fr.pdf, s. d.). Ils offrent des services de prêts et d'emprunts de crypto-actifs qui permet aux déposants de déposer leurs crypto-actifs en

échange d'un prêt d'un autre crypto-actif, généralement sous la forme de jetons stables (ou stablecoins). Pour atténuer le risque d'exposition en cas de défaut, les prêts doivent généralement être sur-collatéralisés selon les protocoles. De cette façon, en cas de défaillance d'un emprunteur, le prêteur serait protégé. De plus, la garantie est souvent stockée dans une cryptomonnaie dont le prix varie. Lorsque la valeur de la garantie diminue de manière significative, rendant impossible de maintenir le ratio de sur-garantie-réalisation prévu, dans le cadre d'un accord préalable, le prêteur peut saisir la garantie et la vendre immédiatement afin de prévenir une perte.

b) L'échange et l'achat-vente de jetons (swap)

Les échanges de crypto-actifs se font sur des plateformes d'échanges décentralisées. Initialement, le système fonctionnait grâce à l'utilisation d'un système de livre d'ordres, identique à celui utilisé en finance traditionnelle. Dans de nombreux protocoles, les modèles de livre d'ordre ont progressivement été remplacés par les AMM, autre grande innovation de la DeFi : l'échange ne se fait plus directement de pair-à-pair, mais via des contrats intelligents appelés « pool de liquidités ». Cette réserve est constituée de l'ensemble des jetons apportés (déposés) par les utilisateurs, ce qui permet de réaliser un achat ou une vente sans nécessairement disposer d'un ordre réciproque. La fourniture de « liquidité » dans le pool est encouragée en rémunérant les apporteurs de jetons avec des jetons de gouvernance d'application (20230403_finance_decentralisee_desintermediee_fr.pdf, s. d.).

1.3 - Valeur de marché et les stratégies de staking et de liquid staking

Le staking ou jalonnement offre la possibilité de générer des bénéfices en fonction des tendances du marché. Le staking consiste à bloquer des jetons pendant une durée déterminée afin qu'ils génèrent des intérêts. Ce processus de staking signifie que déposer de l'argent pour une durée déterminée peut avoir une valeur économique intrinsèque, car le jalonnement est la clé de l'efficacité financière, de la sécurité et de l'intégrité garantie du système de comptabilité blockchain (Lau et Tse - 2021 - Decentralized Basic Income Creating Wealth with O.pdf, s. d.). La validation des transactions dans la blockchain est liée à cette tâche, ce qui signifie que seuls les validateurs sont autorisés à faire du staking en utilisant le consensus Proof of Stake (PoS) ou preuve de participation. Les validateurs vont mettre en jeu leurs jetons de gouvernance et ces jetons fongibles peuvent à leur tour être réutilisés dans l'économie DeFi. Si la valeur de la monnaie baisse au cours de cette période, le prêteur risque de ne pas être en mesure de « désengager » assez rapidement, c'est-à-dire d'extraire l'argent du validateur, pour arrêter les pertes. La seconde est que si le validateur ne fait pas son travail correctement, par exemple, s'il n'est pas présent assez souvent pour approuver de nouvelles

transactions à temps, il y aura des pénalités, c'est-à-dire qu'une partie de la devise mise en jeu sera « réduite » (01 Net - Staking qu'est-ce que c'est, comment ça fonction.html, s. d.).

Le jalonnement liquide ou liquid staking sont des dérivés représentant une part des jetons mis en jeu dans la blockchain de preuve de participation. Les jetons de liquid staking peuvent ensuite être échangés ou utilisés à d'autres fins dans la finance décentralisée comme garanties dans les plateformes de prêt DeFi (Scharnowski et Jahanshahloo - 2023 - The economics of liquid staking derivatives Basis.pdf, s. d.).

a) Les protocoles de yield farming (ou liquidity mining)

Les protocoles de yield farming ou les agricultures de rendement consistent habituellement à prêter ou à miser notre cryptomonnaie ou nos jetons en échange de récompenses comme des frais de transaction ou des intérêts (Shah et al. - 2023 - A systematic review of decentralized finance proto.html, s. d.). Les utilisateurs de ce protocole peuvent bloquer leurs crypto-actifs dans des pools de liquidité, ce qui permet d'augmenter la valeur stockée et de générer des bénéfices. Les intérêts peuvent être forfaitaires ou flexibles selon les taux décidés par chaque plateforme. De cette manière, l'agriculture de rendement ou le yield farming peut attirer un plus grand nombre de personnes vers les protocoles DeFi et augmenter l'adoption par les utilisateurs.

b) Les prêts-emprunts sans collatéral (flash loans)

Les prêts flashes permettent à un particulier d'emprunter instantanément auprès d'un pool de contrats intelligents financé par l'État sans fournir aucune garantie. Il est nécessaire de rembourser ces prêts avant la fin d'une période de transaction, qui est habituellement limitée à un bloc de transaction. La transaction sera annulée si l'emprunteur ne rembourse pas sa dette à ce moment-là. La garantie de restitution des liquidités au pool est assurée par ce processus. On rencontre fréquemment l'utilisation de prêts flash pour réaliser des arbitrages, des échanges de garanties, des auto-liquidations et des transactions rapides (no.uisinspera788740596918795.pdf, s. d.).

c) Les protocoles d'agrégation

Ceux sont des protocoles qui permettent aux agrégateurs d'avoir accès à plusieurs services décentralisés, évaluent leurs performances de façon claires et précises avant d'y investir.

1.4 - Efficacité de DeFi sur crypto-actifs

Les dérivés DeFi sont des crypto-actifs qui suivent le prix d'un actif sous-jacent qui peut être un autre crypto-actif, un actif financier traditionnel, une matière première ou des événements du monde réel évalués. L'éventail des protocoles dérivés s'étend des options d'achat et de vente aux contrats à terme, en passant par les contrats à terme et les swaps perpétuels.

Les actifs synthétiques permettent une exposition à un actif sans propriété réelle. Pour tracer le prix des actifs sous-jacents, ces protocoles DeFi exploitent les Oracles, c'est-à-dire des contrats intelligents qui agissent comme un service de pont entre une technologie des registres distribués (*Distributed Ledger Technology* DLT) et le monde extérieur, permettant de récupérer des données hors chaîne du monde réel. Tandis que les investisseurs des services centralisés utilisent des intermédiaires pour acceptation des accords et autres..., les protocoles dérivés de la DeFi font appels à des contrats intelligents qui exécutent automatiquement la transaction dès que les conditions nécessaires sont remplies, tout en mettant en place des garanties pour se prémunir des risques.

a) Les protocoles d'assurances décentralisées

Ces protocoles d'assurance fonctionnent comme ceux de la TradFi. La seule différence réside dans le fait que la gestion des assurances est automatisée, c'est-à-dire gérée par des contrats intelligents. Ils permettent de garantir les portefeuilles des utilisateurs en cas de failles ou de piratages. L'importance de ce protocole est que les utilisateurs sont rassurés de savoir que leurs portefeuilles cryptographiques sont protégés en cas de bug ou piratages.

b) Les protocoles de financement participatif

Le financement participatif ou le crowdfunding est un mécanisme qui permet de collecter des fonds auprès d'un pool de contributeurs de manière systématique pour un modèle commerciale ou une cause via une application ou une plateforme en ligne. Les contributeurs soutiennent un projet ou financent un projet en échange d'avantages financiers exemple (capitaux propres ou intérêts) ou non financiers (dons ou récompenses) (Baber, 2020).

c) Les protocoles de marchés prédictifs

Ils consistent à miser sur la valeur d'un actif selon les tendances du marché. Les utilisateurs de ce protocole sont très avertis, ils suivent l'actualité des crypto-actifs à temps

afin de prédire leurs dépréciations et profiter de l'occasion pour faire du profit. C'est une sorte de stochastique¹ sur les prix de jetons. On peut gagner de la même façon qu'on peut perdre, tout comme les jeux au hasard.

1.5 - Les limites des institutions financières traditionnelles

Depuis plusieurs décennies, nous habitons dans un monde où la finance est centralisée. La gestion de la masse monétaire est entre les mains des banques centrales et des gouvernements. Pour accéder à notre argent, il est obligatoire de passer par un intermédiaire, ce qui peut parfois prendre beaucoup de temps et être contraignant. En plus, les établissements bancaires traditionnels jouent un rôle dans les opérations d'emprunt et de prêt. Toutefois, ces dernières années ont vu l'entrée du Bitcoin, de la technologie blockchain et récemment de la DeFi sur le marché qui remettent en question nos méthodes traditionnelles de gestion financière. Alors que nous entrons dans une nouvelle ère de technologie financière, DeFi pourrait révolutionner la structure de la finance moderne et concevoir un nouvel environnement pour l'entrepreneuriat et l'innovation, en mettant en avant le potentiel de la décentralisation comme fondement pour de nouveaux modèles économiques. Ainsi les limites de la TradFi peuvent être énumérées ci-dessous :

- Contrôle sur nos actifs financiers : Le contrôle traditionnel sur nos actifs financiers, exercé par des institutions centralisées, limite la flexibilité et l'autonomie des utilisateurs.
- Accès limité : L'accès limité dans la finance traditionnelle (TradFi) se manifeste par des restrictions imposées par les institutions financières, qui peuvent restreindre l'utilisation et le transfert des fonds.
- Inefficacité : L'inefficacité dans la finance traditionnelle (TradFi) se traduit souvent par des délais de traitement, des frais élevés, et la nécessité de recourir à des intermédiaires pour effectuer des transactions.
- Manque de transparence : Les utilisateurs de la TradFi font face à un manque de transparence, car ils n'ont souvent pas une visibilité claire sur la gestion de leurs fonds et les décisions des institutions.
- Manque d'interopérabilité : Le manque d'interopérabilité dans les institutions traditionnelles se traduit par des systèmes financiers cloisonnés et des difficultés à intégrer divers services et plateformes.

¹ Stochastique : Traitement des données statistiques, par le calcul des probabilités.

Section 2 : Les avantages et les risques de la DeFi

2.1 - Les avantages de la finance décentralisée

Un des principaux atouts de la DeFi est qu'elle propose une alternative moins coûteuse qu'au système financier traditionnel. D'abord la finance décentralisée peut élargir l'inclusion financière en permettant à toute personne désirant d'accéder aux services de le faire sans contrainte. Les services se font de pair à pair, éliminant toute nécessité de recourir à un intermédiaire. La règle de la discrimination est totalement exclue des services financiers décentralisés en raison de la pseudonymie dans DeFi.

Ce qui signifie que le service est accessible à tous quel que soit le statut social. Les règles sont valables pour tout le monde et les transactions se font de façon transparente, tout le monde disposant d'une connexion internet peut vérifier les transactions. En comparaison avec un prêt traditionnel, la DeFi ne repose pas sur des institutions qui interviennent comme des intermédiaires, à l'instar des banques. Il n'est plus nécessaire de constituer un dossier de crédit auprès de sa banque et de patienter pour qu'il soit validé : la DeFi offre le même service de façon moins fastidieux et rapide. Par exemple, avec la plateforme Makerdo, les utilisateurs peuvent définir eux-mêmes les modalités de remboursement du prêt, et plus généralement contracter des prêts sans complexité administrative et sans l'intervention de tiers de confiance.

En plus, elle permet de rendre plus facile les transactions transfrontalières et moins chronophages car DeFi n'est liée à aucun emplacement géographique. Un système financier décentralisé est considéré comme moins cher car tout est construit sur la blockchain, aucun frais n'est facturé pour les services bancaires ou intermédiaires, et tout est géré par les pairs. Vu que dans la TradFi la confiance est gérée par les institutions financières, dans DeFi, des contrats intelligents, peuvent être utilisés, au moins partiellement, pour remplacer ce besoin de confiance (Ozcan - 2021 - Decentralized Finance.pdf, s. d.). Puisque les transactions sont réglées de manière atomique, le risque de contrepartie est quasiment supprimé. Les transactions deviennent également plus efficaces grâce à la suppression du risque de contrepartie.

En outre DeFi peut améliorer la participation au marché. Un plus grand nombre de particuliers et de petites entreprises peuvent bénéficier d'un accès (équitable) au financement parce que DeFi réduit les frictions à l'entrée, par exemple en atténuant les préjugés locaux dans le financement à risque ou dans les prêts (Momtaz - 2022 - How Efficient is Decentralized Finance (DeFi).pdf, s. d.). La technologie peut fournir une utilisation pratique

dans les transactions, compensation et règlement tout en facilitant les formalités administratives fastidieuses liées au commerce et au transfert de propriété légale.

Enfin, la nature décentralisée de DeFi est un grand terrain d'innovation. Les développeurs pourront s'en profiter pour challenger et créer de nouvelles applications. Étant donné que les plateformes DeFi sont Open source, les développeurs pourront s'en inspirer et créer des applications bien plus attrayantes. L'open source peut aussi stimuler l'innovation en intensifiant la concurrence, ce qui se traduit par des produits et services de meilleure qualité et moins onéreux.

2.2 - Les opportunités de la finance décentralisée

Une efficacité accrue est la première opportunité offerte par la finance décentralisée. La DeFi a le potentiel de rendre les transactions financières plus efficaces. En effet, la DeFi peut augmenter l'efficacité en remplaçant les besoins de confiance par des contrats intelligents. Dans un environnement financier décentralisé, deux parties souhaitant échanger des actifs numériques sous forme de jetons n'ont pas besoin d'un tiers ou d'un intermédiaire financier. Au lieu de cela, les jetons peuvent être utilisés pour transférer des actifs numériques entre deux parties (Schär, 2021).

L'autre opportunité offerte par la DeFi est que les protocoles de financement décentralisés sont accessibles à tous. Cela peut créer un système financier ouvert et accessible à toute personne souhaitant faire appel à ce service. Les pauvres comme les riches pourront utiliser ces protocoles de financement décentralisés pour exécuter des transactions (Zhang - 2021 - Application Classifications of Decentralized Finan.pdf, s. d.).

2.3 - Les risques inhérents à l'investissement de la DeFi

Bien que la finance décentralisée présente de nombreux avantages, elle ne demeure pas sans risque.

2.3.1 - Risques liés aux marchés non réglementés et régulés

L'un des plus grands avantages de la DeFi constitue sont plus grands risques : sa nature décentralisée. Vu que le protocole est décentralisé, tout le monde peut y accéder ce qui pourrait échapper à tout contrôle et à toute régulation. Par conséquent, les expose à un risque potentiellement élevé d'activités illicites, notamment en termes d'abus de marché, de risque de manipulation de cours ou de fraude, ou d'activité illicites de blanchiment d'argent. Par ailleurs, pour les utilisateurs surtout ceux qui ne sont pas experts en technologie blockchain, les protocoles d'échange DeFi peuvent être complexes à comprendre et à

appréhender. En effet, l'utilisateur moyen de la technologie qui ne peut pas lire un code de contrat intelligent ou évaluer sa sécurité peut être amené à signer un contrat intelligent compromis, exposant ainsi l'utilisateur à des risques et à une responsabilité légale imprévue.

2.3.2 - Risque de manipulations de prix

En raison du traitement des transactions par lots atomiques et du fait que les transactions peuvent elles-mêmes être initiées par des contrats intelligents, il est possible que certains utilisateurs malveillants s'en profitent pour manipuler le prix des jetons. Autrement dit, certains utilisateurs peuvent entrer une fausse information concernant le prix d'un jeton incitant les investisseurs à réagir suite à la nouvelle. En gonflant artificiellement le prix d'un jeton par exemple, les manipulateurs de prix peuvent vendre leurs actifs à des prix plus élevés et réaliser ainsi des profits. En plus, au moment de la soumission d'un ordre de transaction, le délai de règlement de la transaction n'est pas connu par l'utilisateur et, lors de la transmission aux nœuds du réseau, la transaction devient publique sur la blockchain avant qu'elle ne soit réglée. Ce décalage ouvre la porte à de potentiels acteurs malveillants, qui peuvent, dans l'intervalle, soumettre leurs propres ordres de transaction pour tirer bénéfice d'un ordre déjà placé mais pas encore réglé ce qui pourrait avoir une influence significative sur le cours constaté dans le protocole. Les mineurs sont les mieux placés pour mener ces attaques, car ils détiennent un contrôle précis sur l'ensemble exact des transactions qui seront exécutées et dans quel ordre, et peuvent intégrer plus tard leurs propres transactions sans les diffuser.

2.3.3 - Risque de glissement de valeur (slippage risk)

C'est un risque relevé des plateformes décentralisées découlant de la différence de prix entre le moment du placement dans le contrat intelligent et celui surgit au moment de l'exécution dans la blockchain. Cette différence peut engendrer des variations significatives entre le prix souhaité par l'utilisateur et le prix réel d'exécution, ce qui peut provoquer des pertes importantes (Diana, 2023).

2.3.4 - Risque de Rug Pull

Il est lié à la nature open source des applications financières décentralisées. En effet, des développeurs créent leurs propres jetons et les placent dans des applications décentralisées. Ainsi, avec le nouveau jeton, ils essaient d'utiliser le système d'agriculture de rendement incitant les investisseurs à investir sur ce nouveau jeton. Une fois qu'un certain montant ait été déposé sur ce jeton, les développeurs abandonnent le projet lié à ce jeton et s'enfuient avec le fonds des investisseurs (Plisio - 2023 - Rug Pulls un guide pour reconnaître les escroque.html, s. d.).

L'affaire WhaleFarm est l'un des exemples les plus récents et intéressants en matière de *Rug Pull*. La plateforme avait été créée par des utilisateurs anonymes et proposait des APY (*annual percentage yield* ou rendement annuel en pourcentage) allant jusqu'à 7 217 848 %. En juin, un *Rug Pull* sur le protocole a mené à un vol de 2,3 millions de dollars en crypto-actifs et à une chute de 99% du jeton de protocole WhaleFarm. Les développeurs, sont restés jusque-là anonymes et n'ont jamais été retrouvés (ADAN, 2021).

2.4 - Les principaux pays adoptant la DeFi

Il est intéressant de constater que les pays qui ont adopté la DeFi ne sont pas nécessairement ceux auxquels on pourrait s'attendre. L'adoption populaire de la cryptographie ne dépend pas des pays qui ont les volumes de transactions brutes les plus élevés selon Chainalysis. En réalité, l'entreprise américaine a comparé 154 pays et a établi son classement en fonction de plusieurs critères, notamment la part des revenus investie par les habitants dans les cryptos.

Tableau 1 : Top 10 des pays utilisant DeFi

Pays	Région	Classement global de l'indice	Classement du volume des échanges P2P
Inde	Asie centrale et méridionale et Océanie	1	5
Nigeria	Afrique sub-saharienne	2	1
Viêt Nam	Asie centrale et méridionale et Océanie	3	2
États-Unis	Amérique du Nord	4	12
Ukraine	L'Europe de l'Est	5	11
Philippines	Asie centrale et méridionale et Océanie	6	19
Indonésie	Asie centrale et méridionale et Océanie	7	14
Pakistan	Asie centrale et méridionale et Océanie	8	9
Brésil	l'Amérique latine	9	15
Thaïlande	Asie centrale et méridionale et Océanie	10	44

Source : (Team - 2023 - Chainalysis The 2023 Global Crypto Adoption Index.html, s. d.)

Section 3 : La blockchain : dimension et domaine d'application

La blockchain est devenue l'une des technologies les plus en vogue ces dernières années, avec un développement rapide et un potentiel énorme de révolutionner divers secteurs. À sa base, la blockchain est une technologie de registre distribué qui permet des transactions sécurisées et transparentes sans nécessiter d'intermédiaires. Une de ses applications les plus notables se trouve dans le domaine financier, en particulier à travers l'infrastructure alternative connue sous le nom de finance décentralisée (DeFi) basée sur la blockchain Ethereum.

En outre, la technologie blockchain a radicalement modifié le concept de centralisation. En offrant une alternative décentralisée et transparente, elle remet en question les structures traditionnelles et propose de nouvelles façons de gérer les transactions et les données dans de nombreux domaines, allant de la finance à la supplychain, en passant par les services de santé et bien plus encore. Ainsi pour une analyse plus judicieuse de la blockchain, nous allons d'abord commencer par la définir, puis montrer son fonctionnement pour enfin terminer par illustrer ses différents domaines d'applications.

3.1 - Blockchain : définition

Une blockchain est un type d'architecture de base de données distribuée dans un réseau décentralisé et sécurisé. Le réseau est qualifié de décentralisation vu que les activités se font de pair en pair et sécurisé par ce que les mineurs font offices d'une vérification continue afin de garantir l'authenticité des blocs. L'ordre correct des blocs contenant l'aperçu chronologique des transactions dans la base de données est maintenu grâce à l'utilisation de primitives cryptographiques, grâce auxquelles toutes les parties prenantes peuvent vérifier manuellement la succession des blocs. Dans la blockchain, aucune modification n'est possible après l'enregistrement d'une transaction. Pour reprendre la fameuse citation du mathématicien Jean-Paul Delahaye, la blockchain est "un très grand cahier, que tout le monde peut lire librement et gratuitement, sur lequel tout le monde peut écrire, mais qui est impossible à effacer et indestructible". C'est donc un registre public, anonyme et infalsifiable (Qu'est-ce que la technologie blockchain ?, s. d.).

Les transactions blockchains se produisent au sein d'un réseau *Peer-to-Peer* d'ordinateurs (nœuds) distribués à l'échelle mondiale. Chaque nœud conserve une copie de la blockchain et contribue au fonctionnement et à la sécurité du réseau. C'est ce qui fait du Bitcoin une monnaie numérique décentralisée, sans frontières, résistante à la censure et qui ne nécessite pas d'intermédiation tierce. La technologie blockchain qui est considérée comme

une DTL est conçu pour être résistante à toute modification et aux fraudes (les problèmes de doubles dépenses). Une DTL est une base de données ouverte et accessible à tous qui gère des transactions de façon transparente. Ainsi Webopedia définit une blockchain comme « un type de structure de données qui permet d'identifier et de suivre numériquement les transactions et de partager ces informations sur un réseau distribué d'ordinateurs, créant en quelque sorte un réseau de confiance distribué. La technologie du grand livre distribué offerte par la blockchain fournit un moyen transparent et sécurisé de suivre la propriété et le transfert des actifs ». Les blockchains peuvent être classées en trois catégories : publiques, privées ou hybrides, en fonction de leur utilisation (Sultan et al. - 2018 - Conceptualizing Blockchains Characteristics & App.pdf, s. d.).

- Les blockchains publiques : sont des blockchains ouvertes et accessibles à tous sans autorisation. N'importe qui peut lire, modifier ou valider une transaction dans la blockchain. Les cryptomonnaies comme Bitcoin, Ethereum et Litecoin utilisent généralement les blockchains publiques.
- Les blockchains privées (également appelé avec autorisation) : elles fonctionnent de la même manière que les blockchains publiques mais sont plus sécurisées que ces dernières. Elles sont gérées par une seule organisation qui donne le droit d'accès aux utilisateurs. Le réseau est partiellement décentralisé car une seule autorité détient le droit d'accès et détermine qui est admis ou non dans le réseau et quels sont ses droits. On retrouve souvent les blockchains privées dans les entreprises qui souhaitent utiliser ces technologies tout en conservant une grande confidentialité de leurs données.
- Les blockchains de consortium également appelé blockchain hybride : ces blockchains ne sont publiques que pour un groupe privilégié. Le processus de consensus est contrôlé par des serveurs connus et privilégiés utilisant un ensemble de règles acceptées par toutes les parties. Les copies de la blockchain ne sont distribuées qu'entre les participants habilités (Sultan et al. - 2018 - Conceptualizing Blockchains Characteristics & App.pdf, s. d.). Le réseau est donc partiellement décentralisé tout comme la blockchain privée à la différence qu'elle est plus sécurisée que cette dernière.

3.2 - Fonctionnement de la Blockchain

Lorsqu'un utilisateur effectue une transaction sur le réseau blockchain, celle-ci est rassemblée avec d'autres transactions connexes pour former un bloc (La blockchain pour les nuls, explication simple du.html, s. d.). Ainsi, au niveau de la blockchain, chaque transaction

est enregistrée sous la forme d'un bloc de données. Ensuite les mineurs² vérifient la transaction pour en assurer l'authenticité. Après vérification, si la transaction est conforme, elle est immédiatement horodatée et ajoutée à la chaîne de blocs (blockchain). Le processus de vérification est rapide car un groupe de mineurs sur la base de calculs et d'algorithmes certifie ou non un nouveau bloc. L'opération est ajoutée au bloc précédent et devient alors visible et accessible à tout utilisateur, mais ne peut plus être modifiée.

La sécurité des blocs est assurée en les liants les uns aux autres de manière sécurisée, empêchant ainsi toute modification ou insertion d'un nouveau bloc entre deux blocs existants. L'ajout de chaque bloc renforce la vérification du bloc précédent et par conséquent de l'ensemble de la blockchain.

Cette méthode assure une sécurité réelle : en cas de cyberattaque, il est nécessaire que plus de la moitié des nœuds soient piratés simultanément pour pénétrer l'écosystème. Un exploit presque impossible, d'autant plus que cette tentative de piratage serait rapidement repérée par les nœuds (Blockchain définition, fonctionnement et applica.html, s. d.). Un tableau illustratif du déroulement d'une transaction blockchain est représenté ci-dessous.

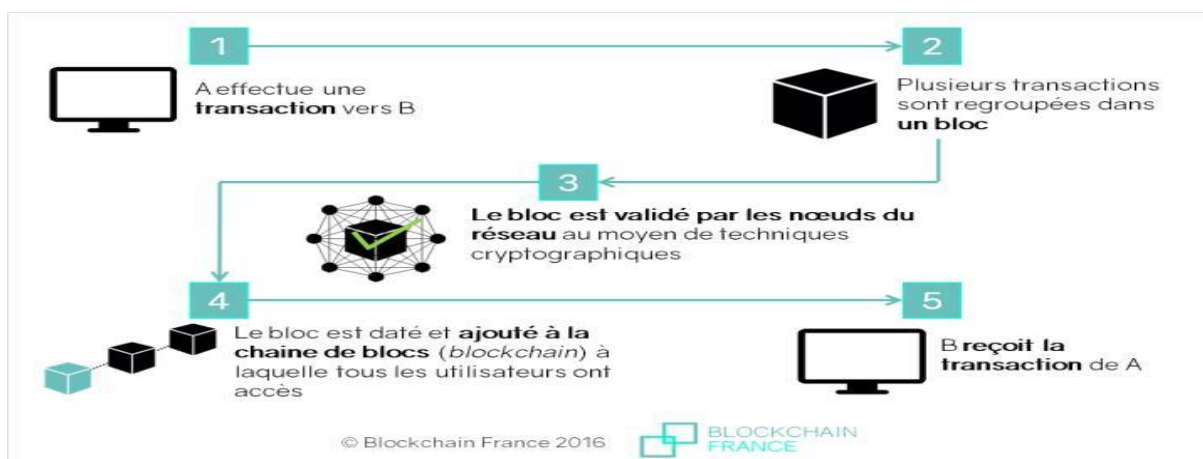


Figure 2 : Image illustrative du processus de déroulement d'une transaction blockchain

Source : (HENDERSON - 2022 - Comment fonctionne la blockchain .html, s. d.)

3.3 - Domaine d'application de la blockchain

La technologie blockchain peut être exploitée de manière autonome dans une grande variété de contextes et de marchés, allant de l'assurance à la santé en passant par l'administration, l'énergétique et la logistique etc.... Presque tous les secteurs dans lesquels des actifs sont gérés et des transactions ont lieu, peuvent bénéficier d'une utilisation de la

² Les mineurs vérifient les transactions en résolvant des défis mathématiques complexes grâce à du matériel dédié. En récompense de leur travail, ils reçoivent des bitcoins ou des Ethers nouvellement émis.

blockchain. Dans le tableau ci-dessous, nous allons répertorier quelques domaines applicables à la blockchain.

Tableau 2 : Domaines d'application de la blockchain

Blockchain	
Domaines d'applications	Descriptions
Santé	Avec la technologie blockchain, les structures sanitaires peuvent suivre normalement leurs patients et les ressources de santé appropriées en tout temps. En plus, elle garantit la disponibilité des données des patients au sein de l'établissement de manière rapide et sécurisée
Administration	La blockchain est une très grande innovation pour les sociétés. Elle leur permet de stocker des documents administratifs, titre foncier, acte d'Etat civil, des contrats, des diplômes entre autres de manière sécurisée et transparente. Ce qui peut constituer un moyen efficace de préserver ses données tout en garantissant un accès simple et rapide à l'information.
Assurance	Grâce à la technologie blockchain et l'appui des smart contracts, les compagnies d'assurances peuvent dédommager automatiquement leurs clients. (Marko - 2020 - Les principales applications de la technologie blockchain, s. d.) La société d'assurance AXA avait mis en place un système d'indemnisation sur les plans de vol. Le smart contract a toutes les informations concernant le plan du vol. Dès qu'il constate le retard d'un vol, tous les passagers assurés seront automatiquement indemnisés.
Logistique	De l'achat du produit jusqu'à son arrivé à destinataire, la blockchain permet un suivi régulier d'un processus de croissance et de vente dans une entreprise. Souvent utilisée dans le domaine de l'agroalimentaire, elle offre la possibilité aux clients de suivre le produit depuis l'entreprise. Grâce à la technologie blockchain, la traçabilité des chaînes d'approvisionnement est ainsi assurée.
Energie	Le but du gestionnaire de l'énergie est de contrôler et d'optimiser de façon proactive et systématique la consommation d'énergie d'une organisation pour en limiter l'utilisation et réduire les coûts énergétiques. (Marko - 2020 - Les principales applications de la technologie blockchain, s. d.) Avec la technologie blockchain ; les entreprises énergétiques pourront garder une traçabilité sur leurs activités, réduire leurs coûts énergétiques, gérer l'historique de création énergétique et régir des « smart contracts » pour l'utilisation de l'énergie et fixe les tarifs.
Vote	Le système de vote électronique est possible sur la blockchain avec l'appui des smart contracts. Pour ce faire, les administrateurs électoraux définissent le type d'élection, élaborent l'élection mentionnée précédemment, configurent les bulletins de vote, enregistrent les électeurs, fixent la durée de l'élection et assignent des nœuds autorisés. la blockchain offre une alternative facile et moins coûteuse pour l'organisation et la gestion des élections et donne une vision à temps réel du déroulement de l'élection (Hjálmarsson et al., 2018).

Source : Conception de l'auteur

Conclusion

La blockchain représente une innovation majeure avec le véritable potentiel de transformer divers secteurs, notamment le secteur financier. Sa capacité à offrir des transactions sécurisées, transparentes et décentralisées défie les structures traditionnelles et ouvre la voie à de nouvelles possibilités d'innovation et d'efficacité. Tandis que les défis persistent, les avantages et le potentiel de la blockchain continuent et stimule l'adoption et l'évolution de la DeFi à travers le monde. Ainsi, grâce à l'utilisation de la technologie blockchain, les utilisateurs sans se connaître peuvent établir une confiance renforcée entre eux et effectuer des transactions sans intermédiaire. En plus, comme constaté ci-dessus, la blockchain peut s'appliquer à plusieurs domaines d'activité facilitant ainsi la gestion et les transactions au sein d'une entreprise.

Face aux nombreux avantages de la blockchain et de la DeFi, il est crucial d'examiner comment les contrats intelligents peuvent encore améliorer ces technologies.

CHAPITRE 2 : SMART CONTRACTS DANS LA
FINANCE DÉCENTRALISÉE (DEFI) :
FONCTIONNEMENT ET AVANTAGES COMPARATIFS

Introduction

Les *smart contracts*, basés sur la technologie blockchain, connaissent une popularité croissante dans le monde des affaires à l'échelle mondiale. Puisqu'ils offrent aux traders la possibilité de conclure des accords rapidement et moins coûteux, tout en garantissant leur sécurité. Ainsi, les smart contracts sont des contrats qui fonctionnent automatiquement sans intervention humaine dépassant de loin les contrats sur papier. Car ces derniers peuvent comporter des erreurs d'écriture ou la personne chargée de la rédaction peut être corrompue, choses totalement inexistantes dans les contrats intelligents. Dans ce chapitre, nous allons décrire les avantages liés aux *smart contracts* et leurs limites.

Section 1 : Avantages des smart contracts en terme d'efficience et d'efficacité et ses limites

Les contrats intelligents, également connus sous le nom de *smart contracts* sont des processus d'automatisation des termes d'accords sans l'intervention d'un tiers de confiance. Ils présentent de nombreux avantages par rapport aux contrats traditionnels. Cependant, ils ont aussi leurs limites, ci-dessous, nous allons énumérer quelques-uns de ces avantages clés ainsi que certaines de leurs limites.

1.1 - Automatisation des systèmes d'organisation

a) Automatisation

Les smart contracts sont des programmes informatiques qui s'auto-exécutent lorsque les dispositions convenues dans l'accord sont remplies sans l'intervention d'un tiers de confiance. L'absence d'intervention humaine constitue un grand avantage si bien qu'elle réduit considérablement les risques d'erreur que de fraude. Les smart contracts peuvent être utilisés dans plusieurs domaines d'applications à savoir la finance, la logistique, la prévision du marché, l'Internet des objets (IoT), etc... (Yuan & Wang, 2016), ainsi que dans la gestion gouvernemental. Par exemple l'eGov-DAO est une plateforme de gestion gouvernementale basée sur la blockchain et les smart contracts. L'eGov-DAO est un système des smart contracts utilisé pour offrir automatiquement des services gouvernementaux de manière sécurisé, efficace mais surtout transparente. Pour être membre de eGov, les utilisateurs doivent passer par une procédure d'enregistrement efficace (Diallo et al., 2018). Avec la complexité algorithmique utilisée, les processus de preuves d'enjeu et de travail, hacker le système devient quasi impossible ce qui garantit la sécurité de la plateforme et des données.

b) Précision des transactions et flux d'informations

Les *smart contracts* constitués d'un ensemble de code bien structuré (if-then) garantissent une logique et un comportement adéquat du contrat. Les informations relatives au contrat sont définies de manière claire et nette à l'aide de programmes informatiques. Par conséquent, l'automatisation des contrats réduit les risques liés aux omissions, les retards dans les signatures et les litiges qui dégénèrent même devant les tribunaux (Allam, 2018). D'après Lauslahti et autres (2017), ces problèmes pourraient être éliminés grâce aux niveaux de précision garantis par les contrats intelligents.

c) Réduction des coûts et avantage concurrentiel

L'objectif de toute entreprise est de maximiser ses profits tout en réduisant ses dépenses. Pour ce faire, les entreprises suivent l'évolution des nouvelles technologies afin de voir une alternative efficace qui va leurs aider à atteindre cet objectif. Avec la technologie blockchain, il est possible de mettre en place des contrats intelligents bien sécurisés sans avoir besoin d'intermédiaire pour assurer la transaction. Ainsi, l'élimination d'intermédiaire dans le processus contractuel de l'entreprise contribuera à diminuer potentiellement les coûts organisationnels globaux liés aux processus de contrats traditionnels. L'entreprise fera un gain de temps et réalisera ainsi des bénéfices.

d) Rapidité et efficacité des échanges entre les acteurs

Dès que les conditions préalablement définies sont satisfaites, le contrat intelligent s'exécute automatiquement, ce qui ne requiert pas l'intervention humaine et le rend performant. Le langage informatique, caractérisé par son caractère sans équivoque et hautement prévisible, tend à éliminer les aspects d'incertitude découlant de l'ambiguïté intrinsèque du langage naturel, car il ne laisse aucune place à l'interprétation (Mauro, 2015). Contrairement dans le contrat traditionnel, le processus est long, en plus la possibilité de polémique au moment de la conclusion du contrat est toujours d'actualité ou bien l'une des parties peut ne pas respecter son engagement après signature de contrat.

Avec les contrats intelligents, l'efficacité et la garantie de performance des relations découlent directement de la couche de code dans laquelle elles sont exécutées et de la plateforme qui les héberge, la blockchain (Mauro, 2015). Ce qui est plus avantageuse dans cette situation, c'est que si les conditions sont remplies, le contrat sera déclenché automatiquement par le programme informatique dans la blockchain. L'événement déclencheur est défini lors de la création de scripts pour le contrat.

Par exemple, un événement déclencheur peut être une date, une heure ou même une activité initiée par une partie au contrat, comme le transfert de certaines unités de cryptomonnaies du portefeuille du client vers celui de l'entreprise. Une fois qu'un événement déclencheur se produit, le contrat commence désormais à s'exécuter. Par exemple, pour les organisations basées sur un abonnement en ligne, une fois qu'une unité spécifique de cryptomonnaies est reçue, l'abonnement du client est automatiquement renouvelé (Nzuva, s. d.).

Le fait qu'un programme informatique puisse prévoir d'innombrables variables, « neutralisant » ainsi le risque d'aléas et garantissant une réalisation définitive dans le délai et de la manière envisagés par l'algorithme, constitue un avantage incontestable.

e) Transparence et sécurité des données échangés

La transparence et la traçabilité des actions effectuées sont garanties grâce à l'enregistrement de toutes les transactions effectuées via un smart contract sur une blockchain publique. La falsification de documents est presque impossibles car les nœuds du réseau dans la blockchain surveillent et contrôlent toutes les transactions effectuées par l'une ou l'autre des parties au contrat. Ce qui garantit une parfaite transparence et élimine toutes possibilités de fraudes. Vous êtes sans savoir que les manipulations de documents sont des phénomènes fréquents dans toutes sortes de structures à l'heure actuelle. La blockchain avec les smart contracts sont des moyens efficaces qui permettront de mettre fin à ces agissements.

Une étude réalisée par Marino et Juels révèle que les contrats intelligents disposent de l'une des mesures de sécurité les plus élevées (Marino & Juels, 2016). Grâce à la technologie blockchain qui est composé d'un réseau où les membres ne se connaissent pas et ne se font pas confiance, chaque partie surveille constamment le réseau. Vu que le réseau est décentralisé, les transactions ainsi effectuées seront efficacement vérifiées par les parties avant d'être stockées dans la blockchain. Ce qui garantit l'intégrité des données et protège les parties prenantes contre les manipulations ou les falsifications.

1.2 - Les limites des smart contracts

Malgré les nombreux avantages qu'offrent les smart contracts, ils ne sont pas exempts de limites. Les contrats intelligents sont souvent confrontés à des menaces de sécurité potentielles et à divers autres problèmes, comme c'est le cas pour la plupart des technologies.

a) Immuabilité

Les smart contracts sont généralement irréversibles une fois déployés sur une blockchain. S'il y a un bug ou des omissions, c'est quasi impossible d'y remédier. L'immutabilité des registres décentralisés contenus dans une blockchain semblerait entraver toute intervention extérieure (par exemple une injonction judiciaire) soulevant d'importantes questions de contrôlabilité et de gouvernabilité des contrats intelligents qui y opèrent (Mauro, 2015). Alors que dans les contrats traditionnels, les parties peuvent à tout moment apporter des modifications selon les besoins essentiels du contrat et l'évolution du marché. En raison de la rigidité manifestée dans les contrats intelligents après leurs établissements, ces derniers entraînent un large éventail de problèmes pratiques, notamment en ce qui concerne la facilité

de modification des termes du contrat en fonction de diverses situations (Nzuva, s. d.). La nature complexe d'un contrat doit permettre la modification ou l'annulation selon la convenance de parties prenantes.

b) Risques potentiels de sécurité

Les contrats intelligents sont vulnérables aux risques de sécurité, tels que les hacks et les bogues. Lorsqu'ils sont déployés sur le réseau blockchain, ils ne peuvent plus être modifiés. Ce qui peut constituer un vrai problème, par ce que les développeurs sont des humains et ils sont susceptibles de commettre des erreurs de codages. En plus, l'accessibilité du code au grand public peut être source de problèmes sécuritaires car des individus mal intentionnés peuvent tenter de concevoir une attaque partant du code et l'exécuter. Comme les contrats intelligents traitent de l'argent, ils sont toujours la cible des attaquants prêts à exploiter toute faille (Zou et al., 2021). La parfaite illustration est le hack du DAO (*decentralized autonomous organization*) de 2016 où des hackers ont profités des failles d'un smart contract pour drainer des fonds à hauteur de 50 millions de dollars d'éther (Limites des contrats intelligents, s. d.). Par chance, les responsables de la plateforme ont vite réagi à l'attaque et réécrire le code, les fonds perdu furent ainsi restitués.

c) Oracle

Les contrats intelligents ont été créés pour fonctionner sur la blockchain, un système fermé. Cependant, il peut arriver que le contrat intelligent doive interagir avec le monde extérieur dans certaines circonstances. C'est là que les oracles entrent en jeu (Limites des contrats intelligents, s. d.).

Les smart contracts n'ont pas la capacité d'accéder aux données par eux-mêmes. Ils se servent de l'oracle comme source de données externe à la blockchain. Ce qui peut créer des points de défaillance et compromettre la sécurité et la fiabilité du contrat. Les parties contractantes pourraient manipuler les oracles en générant de fausses informations pour échapper à leurs obligations ou d'obtenir des paiements, même si les conditions stipulées dans le contrat n'étaient pas remplies. Par exemple, une partie cherchant un moyen de ne pas se conformer à un contrat intelligent pourrait faire pression sur un oracle pour qu'il confirme sur la blockchain que les obligations contractuelles de cette partie ont été respectées. Les appareils intelligents peuvent être détruits, piratés ou simplement désactivés par les parties lésées (Frankenreiter, 2019). Les programmes informatiques comme l'oracle sont conçus pour exécuter une transaction en se passant de l'intervention humaine. Mais les oracles n'ont pas la capacité de vérifier la fiabilité des données collectées ce qui constitue une limite à leurs utilisations.

d) Cadre juridique

Les contrats intelligents sont conçus pour fonctionner de manière décentralisée et autonome, ce qui peut poser des problèmes en matière de conformité réglementaire. L'exécution d'un contrat requiert des aspects juridiques qui le rendent normalement exécutoire. Les lois et règlements relatives aux smart contracts diffèrent selon les juridictions et peuvent créer une ambiguïté ou être inexistantes. Afin de pallier à ce problème, des cadres juridiques en rapport avec les smart contracts doivent être mis en place.

e) Confidentialité

La confidentialité est cruciale pour la conclusion d'un contrat. Dans la blockchain, cette notion est absente du fait que les nœuds du réseau doivent lire le contrat afin de garantir sa validité et son authenticité. En effet, bien que les nœuds soient anonymes dans leurs opérations, le grand livre reste public et, par conséquent, les transactions sont visibles et il n'y a aucune sécurité à cet égard (Nzuva, s. d.). En plus, le développeur chargé de coder le smart contract devrait lire et comprendre le contrat avant de le traduire en programme informatique. Ce qui élimine la notion de la confidentialité dans les transactions alors qu'il y a certaines domaines où le secret du contrat doit être bien gardé. Par exemple, dans les domaines tels que la santé ou la finance, les données doivent être protégées contre tout accès non autorisé car elles sont sensibles.

En résumé, les smart contracts sont des outils très efficaces qui rendent les transactions entre les commerciaux plus faciles. En raison de son automatisme et de sa désintermédiation, elle élimine tous les risques de litiges lors de la conclusion du contrat. Mais malgré les atouts que présentent les smart contracts, des recherches futures très sophistiquées doivent être faites afin de combler ses manquements. Sur la base de la réglementation, des outils permettant la modification ou l'annulation d'un contrat sont impératifs afin que les réalités des smart contracts ne diffèrent par grande chose des contrats traditionnels. En plus de la sécurité et de la confidentialité, le problème lié au cadre juridique des smart contracts sont des aspects fondamentaux sur lesquels doivent se focaliser les développeurs de smart contracts.

Section 2 : Comparatifs de coûts associés aux finances décentralisée, centralisée et traditionnelle

Cette section vise à faire une étude comparative en termes de coûts entre les trois systèmes financiers.

2.1 - Coûts associés à la finance décentralisée (DeFi)

L'émergence de la finance décentralisée a introduit un nouveau paradigme dans le paysage financier mondial, offrant des opportunités innovantes pour l'accès aux services financiers et la gestion des actifs. Toutefois, cette révolution financière n'est pas sans coûts. La finance décentralisée utilise des technologies blockchain pour offrir des services financiers sans intermédiaires centralisés. Les transactions sont exécutées par des contrats intelligents, offrant ainsi des services financiers de manière autonome et transparente. En effet, la DeFi présente divers coûts associés qui méritent une attention particulière. Dans cette section, nous explorerons les différents aspects des coûts dans la DeFi, en examinant les frais de transaction, les coûts de sécurité, les frais de gas, ainsi que les implications économiques et sociales de ces coûts sur les utilisateurs et l'écosystème DeFi dans son ensemble.

2.1.1 - Frais de transaction

Les frais de transaction dans la DeFi peuvent être constitués de plusieurs éléments, et ils varient en fonction de la plateforme, du protocole et des conditions du marché. Certains protocoles DeFi imposent des frais pour l'utilisation de leurs services. Ces frais peuvent être fixes ou variables, selon le protocole et le type d'opération. Avec la DeFi, la plupart des intermédiaires sont supprimés, et donc, les frais sont également réduits, les smart contracts permettant une interaction directe entre acheteurs et vendeurs (Morizon, 2021).

i) Frais de gaz

Sur les blockchains comme Ethereum, les transactions nécessitent des frais de réseau pour payer les mineurs qui sécurisent le réseau. Ces frais sont généralement calculés en fonction de la complexité de la transaction et de la congestion du réseau.

L'importance des frais de gaz dans la DeFi réside dans le fait qu'ils encouragent la participation des acteurs au fonctionnement du réseau. Ils servent de mécanisme incitatif pour les mineurs ou les validateurs à sécuriser le réseau en validant les transactions. En outre, les frais de gaz contribuent à réguler l'utilisation du réseau en décourageant les comportements abusifs, tels que le spam ou les transactions non nécessaires. Le prix du Gaz est exprimé

en Gwei (ou Giga-wei) représentant une petite unité d'Ethereum soit 0,000000001 Ether (« Que sont les frais de gas (ou gaz) en crypto ? », s. d.).

De plus, les frais de gaz permettent de maintenir l'équilibre entre l'offre et la demande sur le réseau. Lorsque la demande de traitement des transactions est élevée, les frais de gaz augmentent, incitant ainsi les utilisateurs à prioriser leurs transactions ou à attendre des périodes de moindre trafic pour effectuer des opérations.

2.1.2 - La capitalisation boursière de la DeFi

La capitalisation boursière (*Market cap*) fait référence à la valeur totale des actions ordinaires et privilégiées en circulation d'une société cotée en bourse sur le marché libre. Les sociétés cotées en bourse sont inscrites à une bourse publique (Qu'est-ce que la capitalisation boursière, s. d.).

Dans l'industrie crypto, le *Market cap* est utilisé pour suivre la valeur des différents actifs numériques qui sont échangés en continu, 24 heures sur 24 et 365 jours par an (Balasy, 2023). La capitalisation boursière dans la DeFi est une mesure importante pour évaluer la taille et la valeur relative d'un protocole DeFi par rapport à d'autres sur le marché. Elle peut fournir des indications sur la popularité, la liquidité et la stabilité d'un protocole DeFi donné.

Cependant, il est important de noter que la capitalisation boursière seule ne fournit pas une image complète de la valeur d'un protocole DeFi. D'autres facteurs tels que le volume des transactions, la valeur totale verrouillée (*TVL*) qui mesure les fonds bloqués dans un protocole DeFi, la qualité du code, la sécurité et l'adoption par la communauté sont également importants dans l'évaluation de la santé et du potentiel d'un protocole DeFi.

De plus, la DeFi étant un domaine relativement nouveau et en constante évolution, la capitalisation boursière peut être sujette à une volatilité importante et à des variations rapides en fonction des conditions du marché, des événements de l'industrie et des tendances de l'adoption par les utilisateurs. Par conséquent, il est important pour les investisseurs de prendre en compte divers facteurs lorsqu'ils évaluent les protocoles DeFi et prennent des décisions d'investissement.

La capitalisation actuelle du marché des cryptomonnaies impliquées dans la finance décentralisée est de 88 058 920 301 \$USD ([Coingecko-Principaux jetons DeFi par capitalisation boursière](#), s. d.).

La valeur totale verrouillée (*TVL*) de la DeFi est actuellement de 86,675 milliards de dollars. Sur une période de 24 heures, le volume des transactions dans la DeFi s'élève à 7,072

milliards de dollars, tandis que sur les sept derniers jours jusqu'au 16 avril 2024, il est évalué à 55,007 milliards de dollars (DefiLlama, 2024).

Partant des données tirées sur Coingecko, nous allons tracer un diagramme circulaire illustrant l'évolution de la capitalisation boursière de la DeFi sur une période de 5 ans.

Tableau 3 : Récapitulatif de la Capitalisation Boursière de la DeFi de 2020 à 2024

Eléments	2020	2021	2022	2023	2024	
Janvier	2496525751	47259358706	109516876168	45687865400	73737693258	
Février	2888328216	67386453287	104147882930	50061511577	89441052275	
Mars	1780726843	95368652049	140470400413	50226019422	112087442513	
Avril	2767160442	104525012546	117622873024	49863934630	87613755195	
Mai	3636614554	84351979854	52061412059	46900333070		
Juin	5901290955	62178234087	39045038324	45497162087		
Juillet	10169788008	82351128600	49664318759	50149945588		
Août	17237534508	127073024404	44031727771	43875729407		
Septembre	15557613772	120662336549	45132989696	43588609972		
Octobre	16004835724	152580626649	46291406643	50590290354		
Novembre	17845564072	146252107326	37443661435	65911122546		
Décembre	21402534455	148786245778	34260641267	78254007031		
Moyenne Cap boursière annuelle	9807376442	10323126331958	68307435707	51717210924		90719985810
Total cap	3237832722058					

Source : Coingecko



Figure 3 : Capitalisation boursière de la DeFi de 2020 au 15 Avril 2024 en Md \$US

En 2020, la capitalisation boursière de la DeFi était faible. À cette époque, la DeFi était encore relativement jeune et peu développée, avec un marché en pleine croissance mais toujours modeste. La capitalisation boursière a explosé en 2021 passant de 9807376442\$ en 2020 pour atteindre 10323126331958\$. Cela peut indiquer un intérêt croissant des investisseurs et une adoption plus large des produits DeFi.

En 2022, la capitalisation boursière a subi une baisse marquée, chutant à 68307435707\$, principalement attribuée à la dépréciation du protocole Terra/Luna. Cette chute significative a entraîné des pertes financières considérables pour les investisseurs, ce qui a miné leur confiance à la fois dans le projet spécifique et dans l'ensemble de l'écosystème DeFi. En réaction, les investisseurs ont choisi de retirer rapidement leurs fonds pour limiter leurs pertes potentielles. Cette baisse s'est ainsi répercuté jusqu'à la fin de l'année 2023.

Ce n'est qu'en 2024, que la capitalisation boursière a rebondi pour atteindre une valeur de 51717210924\$. Cette reprise peut être attribuée à des améliorations dans l'infrastructure DeFi, à des innovations continues et à un regain de confiance des investisseurs. Cela pourrait indiquer une consolidation du marché, où les investisseurs sont plus sélectifs dans leurs choix de projets DeFi et où l'industrie cherche à consolider les gains précédents.

En résumé, l'évolution de la capitalisation boursière de la DeFi de 2020 à 2024 montre une croissance exponentielle suivie de périodes de volatilité et de consolidation. Cela reflète la nature dynamique et en évolution rapide de l'écosystème DeFi, avec des opportunités et des défis uniques tout au long de son développement. Au vu des tendances actuelles de la DeFi, on peut en déduire que, dans cinq ans, la DeFi pourrait être largement acceptée, offrant des services financiers innovants, accessibles et sécurisés à un public mondial. Son rôle dans la

transformation du paysage financier pourrait être profond, ouvrant la voie à une économie plus ouverte, inclusive et résiliente.

→ Représentation graphique du volume des transactions de la DeFi durant ces cinq dernières années.

Tableau 4 : Récapitulatif de l'évolution du volume des transactions de la DeFi de 2020 à 2024, basé sur les données extraites sur DeFiLlama.

Eléments	2020	2021	2022	2023	2024
Janvier	2270000	1557000000000	4667000000000	1772000000000	4877000000000
Février	5270000	2950000000000	7140000000000	2326000000000	6476000000000
Mars	1490000	3014000000000	5933000000000	3475000000000	7363000000000
Avril	13160000	5103000000000	5235000000000	1405000000000	6258000000000
Mai	12450000	6474000000000	2981000000000	1891000000000	
Juin	15380000	3870000000000	2645000000000	1944000000000	
Juillet	111170000	2839000000000	2330000000000	2222000000000	
Août	249980000	5402000000000	3324000000000	2638000000000	
Septembre	42443000	4022000000000	1877000000000	1878000000000	
Octobre	286850000	8277000000000	2649000000000	1421000000000	
Novembre	379780000	1215200000000	1765000000000	2858000000000	
Décembre	758630000	5868000000000	1275000000000	6143000000000	
Moyenne Cap boursière annuelle	7418000000360	13561000000720	20979000001440	41958000002880	83916000005760
Total Volume Transaction	16442423239416,7				
Part de Chaque Secteur sur le Total du vol des transactions	0	92,31	76,30	54,69	136,70

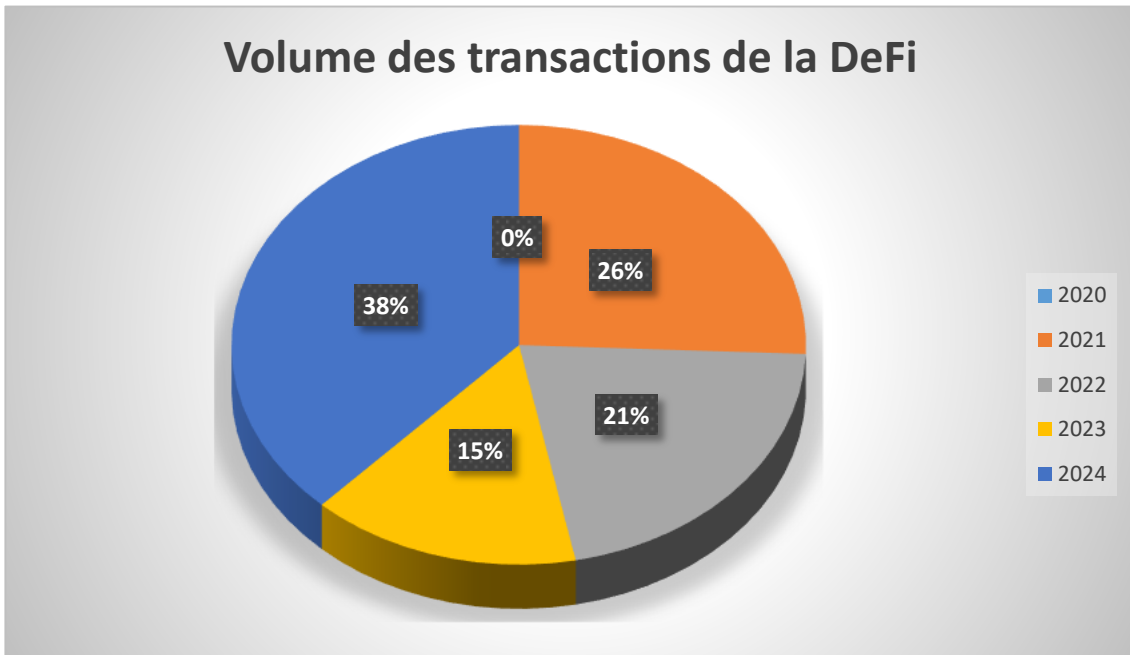


Figure 4 : Capitalisation boursière de la DeFi de 2020 au 15 Avril 2024 en Md \$US

Le volume des transactions a connu une augmentation spectaculaire en 2021, passant de 0% en 2020 à 26%. Cette croissance importante peut être attribuée à une augmentation de l'adoption de la DeFi, à des innovations dans le secteur et à un intérêt accru des investisseurs et des utilisateurs. Les années 2022 et 2023 montrent une stabilité relative dans le volume des transactions, avec des valeurs de 21% et 15% respectivement. Cette stabilité peut indiquer une période de consolidation après la croissance rapide de l'année précédente, où les plateformes DeFi ont peut-être cherché à optimiser leurs opérations et à consolider leur base d'utilisateurs. Le volume des transactions a de nouveau augmenté de manière significative en 2024, atteignant 38%. Cette reprise de la croissance peut être le résultat de nouvelles avancées technologiques, d'une adoption accrue par les institutions financières traditionnelles, ou encore d'une augmentation de la confiance des investisseurs dans l'écosystème DeFi.

Malgré les fluctuations annuelles, la tendance générale du volume des transactions semble être à la hausse sur la période de 2020 à 2024. Cela suggère une croissance continue de l'écosystème DeFi et une adoption croissante de ses services par les utilisateurs et les investisseurs.

En résumé, l'interprétation des données montre une évolution dynamique du volume des transactions dans la DeFi au cours de la période étudiée, caractérisée par une croissance spectaculaire suivie de périodes de stabilité relative et de nouvelles poussées de croissance.

2.2 - Coûts associés à la finance centralisée (CeFi)

La finance centralisée (CeFi) dans le contexte des cryptomonnaies désigne des plateformes d'échange de cryptomonnaies qui fonctionnent sous une structure centralisée. Ces plateformes, comme Binance, permettent aux utilisateurs d'acheter, de vendre et de stocker des cryptomonnaies en utilisant des monnaies fiduciaires.

Ainsi, la montée en puissance des cryptomonnaies a ouvert la voie à une nouvelle ère de la finance, mais cela ne signifie pas pour autant l'absence de coûts. Cette partie explore les différents coûts associés à la finance centralisée de cryptomonnaies.

2.2.1 - Frais de dépôt et de retrait

Lorsque vous souhaitez déposer ou retirer des fonds sur une plateforme d'échange centralisée, celle-ci peut vous facturer des frais pour le traitement de votre opération. Ces frais peuvent varier en fonction du mode de dépôt ou de retrait utilisé (virement bancaire, carte de crédit, cryptomonnaies, etc.), de la méthode de paiement et du montant de l'opération.

Les frais de dépôt et de retrait peuvent différer d'une plateforme d'échange à une autre, et même au sein d'une même plateforme en fonction des conditions spécifiques de la transaction. De plus, certains frais peuvent être ajustés en fonction de la demande, des fluctuations du marché ou des politiques de la plateforme d'échange.

Les frais de dépôt et de retrait dans la finance centralisée représentent les coûts encourus par les utilisateurs lorsqu'ils ajoutent ou retirent des fonds sur une plateforme d'échange. Ces frais varient en fonction de divers facteurs et doivent être pris en compte lors de l'évaluation des coûts totaux associés à l'utilisation de ces plateformes.

2.2.2 - Frais de trading

Il y a les frais de trading sur les plateformes d'échange centralisées de cryptomonnaies. Lorsque les utilisateurs achètent, vendent ou échangent des cryptomonnaies sur ces plateformes, ils peuvent être soumis à des frais de trading, tels que des frais de commission ou des *spreads*, qui représentent la différence entre le prix d'achat et le prix de vente d'un actif.

2.2.3 - Frais de gestion

De plus, il y a les frais de garde et de gestion de portefeuille. Les utilisateurs qui stockent leurs cryptomonnaies sur des plateformes d'échange ou des portefeuilles centralisés peuvent être soumis à des frais de garde pour la conservation sécurisée de leurs actifs, ainsi

qu'à des frais de gestion pour accéder à des fonctionnalités avancées telles que la gestion de portefeuille automatisée ou le staking.

2.2.4 - Capitalisation boursière de la finance centralisée dans le monde

La capitalisation boursière de la DeFi représente la valeur totale de tous les actifs financiers présents dans l'écosystème de la CeFi. Elle englobe les tokens, les pièces stables (stablecoins), les actifs synthétiques et d'autres instruments financiers déployés sur des plateformes CeFi. Cette capitalisation boursière est un indicateur clé de la valeur verrouillée dans ces protocoles et est souvent utilisée pour évaluer la taille et la croissance de l'écosystème CeFi. Elle peut fluctuer en fonction de divers facteurs, notamment l'adoption des utilisateurs, les innovations technologiques, les fluctuations des prix des actifs sous-jacents et les conditions du marché global des cryptomonnaies.

CeFi a une capitalisation boursière d'environ 106 805 630 047 billions de dollars avec un volume de transaction journalier d'environ 1 476 898 140 de dollars, ce qui reflète une variation de 2,99% (Principaux Centralized Exchange (CEX) Token par capitalisation boursière, s. d.).

En utilisant les données actuelles de la capitalisation boursière et du volume des transactions de la CeFi, nous avons appliqué un taux de croissance mensuel de 2,99%. Ensuite, nous avons réalisé une rétroprojection pour estimer la valeur de la capitalisation boursière et du volume des transactions de l'année 2023 jusqu'à l'année 2020. Cette analyse nous permet d'anticiper l'évolution potentielle de la CeFi sur ces périodes en tenant compte du taux de croissance spécifié. La rétroprojection nous offre ainsi une vision rétrospective de l'impact de ce taux sur les données de la CeFi sur les périodes étudiées. Ce processus aide à mieux comprendre les tendances passées et à éclairer les décisions futures dans le domaine de la finance centralisée.

Tableau 5 : Récapitulatif de la capitalisation boursière de la CeFi de 2020 à 2024

Eléments	2020	2021	2022	2023	2024
Janvier	822513187,5	1183981223	20581444910	58903304971	97508765925
Février	847864331	1220473377	23774933248	62096793309	1,00514E+11
Mars	873996836,4	1258090276	26968421587	65290281648	1,03612E+11
Avril	900934786,5	1296866587	30161909925	68483769986	1,06806E+11
Mai	928703006,4	1336838044	33355398264	71677258325	
Juin	957327086,2	1378041485	36548886602	74870746663	
Juillet	986833405,1	1420514880	39742374940	78064235001	
Août	1017249155	4614003218	42935863279	81257723340	
Septembre	1048602366	7807491556	46129351617	84451211678	
Octobre	1080921931	11000979895	49322839956	87644700017	
Novembre	1114237637	14194468233	52516328294	90838188355	
Décembre	1148580184	17387956572	55709816633	94031676693	

Source : Conception de l'auteur



Figure 5 : Représentation graphique de la capitalisation boursière de la CeFi de 2020 à 2024

L'interprétation de ces valeurs de capitalisation boursière de la CeFi montre une tendance de croissance significative au cours de ces cinq (5) dernières années. En 2020, la croissance était modeste à 1%, suggérant un début de développement. En 2021, cette croissance a doublé pour atteindre 2%, indiquant une accélération de l'expansion du marché. En 2022, la croissance a considérablement augmenté pour atteindre 17%, signalant une période de croissance rapide et d'adoption accrue des services financiers centralisés.

En 2023, cette tendance s'est encore renforcée avec une croissance de 34%, soulignant une expansion exponentielle et une augmentation significative de la valeur du marché. Enfin, en 2024, la croissance a continué à un rythme soutenu, atteignant 46%, ce qui témoigne d'une maturité croissante du secteur de la CeFi et d'une forte confiance des investisseurs dans son potentiel de croissance à long terme.

Tableau 6 : Récapitulatif du volume des transactions de la CeFi de 2020 à 2024

Eléments	2020	2021	2022	2023	2024
Janvier	11373634,48	16371980,25	284598271,6	814509324,2	1432738886
Février	11724187,69	16876590,3	328757526	858668578,6	1389899993
Mars	12085545,5	17396753,22	372916780,4	902827833	1432738886
Avril	12458040,93	17932948,38	417076034,7	946987087,4	1476898140
Mai	12842017,24	18485669,91	461235289,1	991146341,8	
Juin	13237828,31	19055427,18	505394543,5	1035305596	
Juillet	13645838,89	19642745,26	549553797,9	1079464851	
Août	14066425	63801999,65	593713052,3	1123624105	
Septembre	14499974,23	107961254	637872306,7	1167783359	
Octobre	14946886,12	152120508,4	682031561,1	1211942614	
Novembre	15407572,54	196279762,8	726190815,4	1256101868	
Décembre	15882458,04	240439017,2	770350069,8	1300261122	

Source : Conception de l’auteur

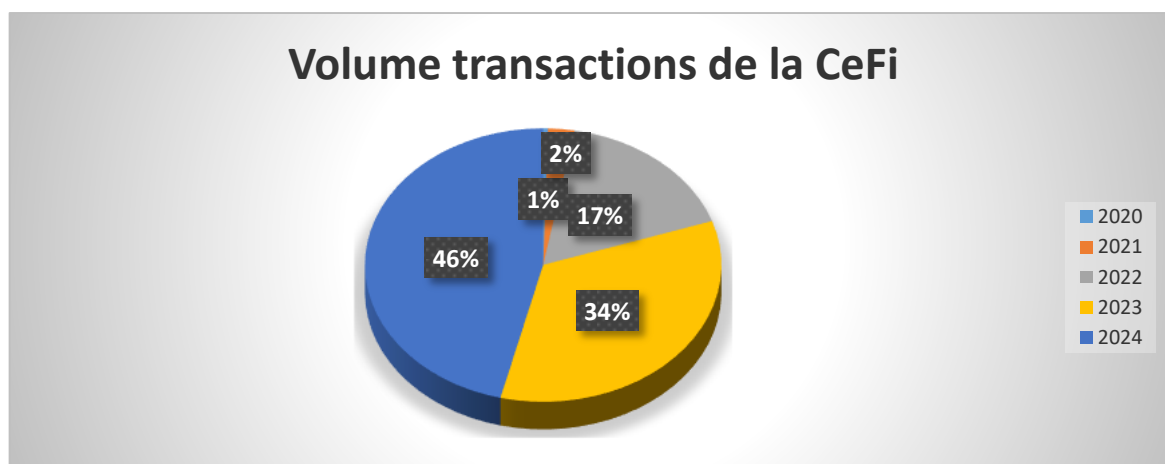


Figure 6 : L'évolution du volume des transactions de la CeFi de 2020 à 2024

La croissance du volume des transactions dans la CeFi, passant de 13 237 828,31 dollars en 2020 à 1 476 898 140,00 dollars en 2024, indique une évolution considérable au fil des années. Cette augmentation spectaculaire témoigne d'un intérêt croissant et d'une activité accrue dans le domaine de la finance centralisée. Elle reflète également une expansion significative des échanges financiers au sein de la CeFi, suggérant un environnement commercial dynamique et en évolution. Cette hausse remarquable pourrait être attribuée à divers facteurs, tels que l'adoption croissante des technologies financières, les investissements accrus dans le secteur et l'élargissement de la clientèle. En somme, cette progression

significative du volume des transactions souligne le rôle croissant de la CeFi dans le paysage financier mondial et son importance croissante en tant que pilier de l'économie numérique.

2.3 - Comparatifs de Coûts associés à la finance traditionnelle

La finance traditionnelle (TradFi) repose sur des institutions financières telles que les banques centrales, les banques commerciales, les compagnies d'assurance et les institutions de micro-finance. Ces institutions sont régulées par des organismes gouvernementaux et offrent des services financiers classiques tels que les dépôts, les prêts, et les assurances.

La finance traditionnelle, représentée par les institutions financières traditionnelles telles que les banques, offre depuis longtemps un accès aux services financiers. Cependant, cette accessibilité n'est pas sans coûts. Cette introduction explore les différents coûts associés à la TradFi.

2.3.1 - Frais de service

Les frais de service peuvent être fixes, comme des frais mensuels ou annuels pour l'entretien d'un compte, ou variables, comme des frais perçus pour chaque transaction effectuée, comme les frais de retrait d'espèces à un guichet automatique d'une autre banque. Les institutions financières facturent généralement des frais de service pour couvrir les coûts associés à la fourniture de ces services. Cela comprend les coûts de personnel, les coûts de technologie pour les services en ligne, les coûts de maintenance des guichets automatiques, etc. Ainsi, les institutions financières sont tenues de fournir des informations claires sur les frais de service à leurs clients, généralement dans les contrats de compte ou les documents d'information tarifaire. Cela permet aux clients de comprendre les frais qu'ils peuvent encourir en utilisant les services de l'institution financière.

2.3.2 - Frais de gestion de compte

Les frais de tenue de compte sont des « frais perçus par la banque ou l'établissement de paiement pour la gestion du compte » selon les termes du glossaire publié par le CCSF en juin 2010. Ils sont appliqués aux comptes actifs qui enregistrent les opérations régulières au crédit (versement du salaire, des allocations...) et au débit (paiement par carte, prélèvements...) et aux comptes inactifs, c'est-à-dire sans activité depuis un certain temps (*Tous, 2023*). Autrement dit, les frais de tenue de compte sont des montants facturés par une banque ou un établissement de paiement pour la gestion d'un compte bancaire. Cela signifie que la banque perçoit ces frais en échange des services qu'elle fournit pour maintenir et administrer le compte de ses clients. Ces frais sont appliqués à deux types de comptes :

- Les comptes actifs : Ce sont des comptes qui voient régulièrement des transactions financières, que ce soit des dépôts (comme le salaire ou des allocations) ou des retraits (par carte de débit ou par prélèvements automatiques).
- Les comptes inactifs : Ce sont des comptes qui n'ont pas connu d'activité financière pendant une période déterminée. Même s'ils ne sont pas utilisés, les frais de tenue de compte peuvent continuer à être facturés pour couvrir les coûts associés à leur maintenance.

2.3.3 - Frais de conversion de devise

Les frais de conversion de devises, également connus sous le nom de frais de change, sont des frais facturés lorsqu'une devise est échangée contre une autre. Ces frais sont généralement prélevés par les institutions financières ou les prestataires de services de paiement qui facilitent la conversion. Lorsque vous convertissez une devise en une autre, vous êtes généralement soumis à un taux de change. Ce taux représente la valeur relative des deux devises et peut varier en fonction de différents facteurs tels que l'offre et la demande sur le marché des changes. Les frais de conversion de devises peuvent varier d'un prestataire à l'autre et dépendent souvent du montant de la transaction, de la devise d'origine et de la devise de destination.

2.3.4 - Capitalisation boursière de la finance traditionnelle

La capitalisation boursière de la finance traditionnelle, qui comprend les banques, les compagnies d'assurance, les sociétés de gestion d'actifs et d'autres institutions financières établies, varie en fonction de nombreux facteurs tels que les conditions économiques, les performances des entreprises individuelles et les fluctuations des marchés financiers. Il n'y a pas de chiffre unique ou constant pour la capitalisation boursière de l'ensemble de la finance traditionnelle, car elle est susceptible de changer au fil du temps.

Cependant, pour donner un ordre de grandeur, nous allons estimer la capitalisation boursière des principales banques et institutions financières à travers le monde. Par exemple, des banques comme JPMorgan Chase, Bank of America, Citigroup, Wells Fargo, HSBC, et d'autres géants financiers ont des capitalisations boursières qui se chiffrent en centaines de milliards de dollars chacune.

De manière générale, la capitalisation boursière de la finance traditionnelle est immense, étant donné le rôle central que ces institutions jouent dans l'économie mondiale et dans les marchés financiers.

Tableau 7 : Récapitulatif de la capitalisation boursière des institutions financières traditionnelles en milliards de dollar du 1er trimestre 2020 au 1er trimestre 2024

Eléments	Trim. 1	Trim. 2	Trim. 3	Trim. 4	Part de chaque an
2020	4,173	4,387	4,066	5,029	55,51
2021	5,778	5,992	6,099	6,313	76,04
2022	6,42	5,778	5,778	5,885	75,03
2023	5,564	5,778	5,671	5,671	71,33
2024	6,1				82,09
Total Moy Trim.	28,62				

Source : (Largest banks market capitalization 2023, s. d.)



Figure 7 : Représentation graphique de la capitalisation boursière de la finance traditionnelle de 2020 à 2024

La courbe montre une évolution progressive des taux de capitalisation boursière de la TradFi au fil des années, passant de 15% en 2020 à 23% en 2024. Cette progression suggère une croissance relative de la capitalisation boursière de la TradFi sur ces périodes.

Les taux de capitalisation boursière sont restés stables à 21% en 2021 et 2022, indiquant une période de stabilité relative pour la part de marché de la TradFi pendant ces années, sans augmentation significative. En 2023, ce taux a diminué à 20%, suggérant une légère contraction de la part de marché de la TradFi cette année. En 2024, le taux de capitalisation boursière de la TradFi a connu une augmentation notable, passant à 23%, indiquant une croissance significative de sa part de marché.

NB : Dans le cadre de la TradFi, les transactions sont souvent gérées de manière plus manuelle par rapport aux méthodes automatisées utilisées dans la finance centralisée et

décentralisée. Cette gestion manuelle peut rendre la collecte et l'agrégation des données relatives au volume des transactions plus difficiles pour plusieurs raisons :

Les institutions financières traditionnelles utilisent souvent une multitude de systèmes de gestion des transactions qui peuvent avoir des formats de données différents et des protocoles de communication variés. Cela rend la consolidation des données relatives aux transactions plus complexes et nécessite souvent des processus manuels pour harmoniser les données provenant de différents systèmes.

Dans de nombreux cas, les transactions dans la finance traditionnelle nécessitent un traitement manuel pour être exécutées. Par exemple, les transactions boursières peuvent passer par plusieurs étapes de validation, de confirmation et de règlement qui peuvent prendre du temps. Ce délai peut rendre difficile la collecte en temps réel des données sur le volume des transactions.

2.4 - Analyse comparative

Dans cette section, nous allons faire un récapitulatif des avantages concurrentiels et des inconvénients de la DeFi, de la CeFi et de la TradFi.

Tableau 8 : Etude comparative des avantages de la DeFi, de la CeFi et de la TradFi.

Eléments	DeFi	CeFi	TradFi
Avantages	Transparence accrue	Interface utilisateur conviviale	Stabilité institutionnelle
	Autonomie Financière	Stabilité réglementaire	Conformité réglementaire stricte
	Frais réduits	Intégration aisée des services financiers traditionnels	Accès privilégié aux marchés financiers mondiaux
	Accessibilité mondiale	Sécurité renforcée grâce à des mesures de sécurité avancées	Soutien gouvernemental
Inconvénients	Volatilité des prix	Dépendance envers des tiers	Complexité des processus
	Risques de sécurité	Risques de sécurité centralisés	Lenteur des transactions
	Complexité technique	Manque de transparence	Manque de transparence
	Réglementation incertaine	Frais élevés	Coûts élevés et la faible accessibilité pour certains groupes démographiques

Source : Conception de l'auteur

En résumé, l'évolution future du paysage financier sera probablement caractérisée par une convergence entre les modèles DeFi, CeFi et TradFi, une réglementation renforcée, une innovation technologique continue, une adoption croissante de la blockchain et une diversification des offres de produits.

La DeFi, bien qu'elle présente la plus petite capitalisation boursière parmi les trois systèmes, offre une opportunité financière significative. Son essence décentralisée favorise l'ouverture, la transparence et l'accessibilité à l'échelle mondiale. De plus, son évolution rapide suggère qu'au cours des cinq prochaines années, elle pourrait émerger en tant que leader sur le marché financier, offrant des alternatives novatrices aux modèles traditionnels.

La CeFi, malgré sa capitalisation boursière et son volume de transactions plus importants que ceux de la DeFi, présente des inconvénients. Son caractère centralisé implique des frais et des contraintes d'accès aux fonds, ce qui limite son attrait pour certains utilisateurs. Cette centralisation constitue également une barrière potentielle à l'innovation et à l'adaptation aux besoins changeants du marché.

Enfin, La finance traditionnelle, souvent désignée sous le terme de "TradFi", a longtemps dominé le paysage financier mondial en tant que pilier essentiel de l'économie. Cependant, malgré sa position de leader actuel en termes de capitalisation boursière, la TradFi est confrontée à plusieurs défis qui pourraient compromettre sa position dans les années à venir. Les frais de transaction dans la TradFi peuvent parfois être élevés, ce qui représente un fardeau financier pour les investisseurs et les utilisateurs. Cette structure de frais peut rendre les investissements et les opérations financières moins attrayants pour les individus et les entreprises, en particulier à l'ère où des alternatives moins coûteuses émergent, comme la DeFi. De plus, la TradFi a souvent été critiquée pour son manque d'accessibilité à certaines classes sociales. Les exigences en matière de solvabilité, les seuils d'investissement élevés et les barrières linguistiques peuvent exclure de nombreux individus et communautés des opportunités financières offertes par la TradFi. Cette exclusion financière peut contribuer à creuser les inégalités économiques et sociales et limiter la croissance économique dans son ensemble.

En résumé, la DeFi émerge comme une force disruptive dans le monde financier, offrant des avantages tels que la décentralisation, la transparence et l'accessibilité. Tandis que la CeFi et la TradFi, bien qu'elles aient une emprise plus forte sur le marché actuel, sont confrontées à des défis qui pourraient les rendre moins compétitives à long terme.

Conclusion

En Définitive, l'analyse des avantages de la DeFi, de la CeFi et de la TradFi en termes de coûts, fiabilité et d'efficacité révèle des avantages spécifiques pour chaque approche. La DeFi offre une autonomie accrue et des coûts réduits grâce à sa décentralisation, tandis que la CeFi assure une stabilité réglementaire et une interface utilisateur conviviale. Enfin, la TradFi bénéficie d'une expertise éprouvée et d'un accès privilégié aux marchés mondiaux, bien que ses processus manuels puissent entraîner des délais et des coûts plus élevés. Malgré les avantages que présentent ces trois systèmes financiers, les acteurs du secteur devront être flexibles, adaptables et se penser sur leurs inconvénients afin de prospérer dans ce paysage. En plus, sur les frais et les avancées technologiques auront un impact significatif sur l'évolution future du paysage financier entre la DeFi, la CeFi et la TradFi. Alors que la DeFi continuera de proposer des frais bas et d'explorer de nouvelles technologies décentralisées, la CeFi et la TradFi chercheront à innover pour rester compétitives et répondre aux besoins changeants des utilisateurs.

PARTIE 2 : AVANTAGES
**CONCURRENTIELS DES SMART
CONTRACTS SUR LE MARCHE
CEREALIER DU SENEGAL**

CHAPITRE 3 : PRÉSENTATION DU PAYSAGE
NUMÉRIQUE DU SÉNÉGAL

Introduction

Le Sénégal, à l'avant-garde de la transformation numérique en Afrique de l'Ouest, déploie des efforts considérables pour intégrer les technologies de l'information et de la communication (TIC) dans tous les secteurs de son économie. Cette transition vers un paysage numérique avancé offre de vastes opportunités pour stimuler la croissance économique, améliorer les services publics et faciliter l'accès aux services financiers. Ce chapitre explore en détail le paysage numérique du Sénégal, en mettant en lumière ses dimensions et potentiels, l'accessibilité des populations aux services numériques, ainsi que l'adaptation et l'intégration des systèmes financiers traditionnels (TradFi), décentralisés (DeFi) et centralisés (CeFi). L'objectif est de fournir une vision claire et complète des forces et des opportunités du secteur numérique au Sénégal, tout en identifiant les défis à relever pour maximiser son potentiel.

Section 1 : Dimension et potentiel numérique

Le Sénégal se positionne comme un leader émergent dans le domaine du numérique en Afrique de l'Ouest, grâce à des initiatives stratégiques et un environnement propice à l'innovation technologique. Cette première section explore les dimensions et le potentiel numérique du Sénégal, offrant un aperçu détaillé de l'état actuel du secteur, de son potentiel de croissance, des stratégies nationales en place, des technologies et solutions innovantes adoptées, ainsi que des efforts en matière d'éducation et de développement des compétences numériques, pour enfin terminer par évaluer les défis et perspectives qui les sous-tendent.

1.1 - Les potentialités du Sénégal en terme de DeFi

a) Etat des lieux

Le Sénégal, comme de nombreux pays en développement, fait face à des défis significatifs en matière d'infrastructure numérique. Selon l'Agence nationale de la statistique et de la démographie (ANSD), seulement 31,7 % des ménages avaient accès à Internet en 2018-2019. L'accès individuel était de 43 % en 2020 d'après l'Union internationale des télécommunications. Ces chiffres montrent une pénétration d'Internet encore limitée, bien que des progrès aient été réalisés. . En comparaison, les taux d'accès à Internet étaient de 26 % en Guinée, 27 % au Mali, 36 % en Côte d'Ivoire et 58 % au Ghana (Le Sénégal en passe de réussir sa transformation ?, s digitale. d.). Mais malgré ces défis, le Sénégal a fait des progrès significatifs dans le développement de son infrastructure numérique. Avec un taux de pénétration d'Internet en constante augmentation et une couverture mobile largement étendue, le pays offre une base solide pour le développement des services numériques. Les principaux fournisseurs d'accès à Internet et les opérateurs de télécommunications jouent un rôle crucial dans cette expansion.

b) Potentiel numérique

Le Sénégal a vu une augmentation constante de l'accès à Internet, avec un taux de pénétration individuel de 43 % en 2020, selon l'Union internationale des télécommunications. Bien que ce chiffre soit encore relativement bas, il montre une tendance positive qui indique un potentiel de croissance future. En effet, sur le sous-index infrastructure, le « Network Readiness Index » (NRI) du World Economic Forum 2016 place le Sénégal dans le groupe de tête en Afrique de l'Ouest avec le Nigéria, la Côte d'Ivoire et le Ghana et à la 14ème place en Afrique.

En Afrique, le Sénégal est classé premier pays africain pour le poids d'Internet dans l'économie (I-PIB) estimé à 3,3%, du fait notamment d'une très bonne connectivité internationale et d'un bon réseau national de transmission (*Le Numérique au Sénégal : les chiffres-clés*, s. d.).

Le pays investit dans le développement de son infrastructure numérique, notamment à travers le déploiement de la fibre optique et l'extension de la couverture mobile. Ces efforts visent à améliorer la connectivité dans les zones urbaines et rurales, offrant ainsi une base solide pour le développement des services numériques. Le Sénégal possède un écosystème de startups dynamique, particulièrement à Dakar (avec des incubateurs comme la Croissance des technologies de l'information et de la communication (CTIC Dakar (La start-up africaine de la semaine, s. d.) et Jokkolabs), qui devient un hub technologique régional. Ces startups innovent dans divers secteurs comme la fintech, l'agritech, et la santé numérique, contribuant à la transformation digitale du pays.

Les projections pour le secteur numérique anticipent une augmentation du PIB (Produit Intérieur Brut) d'environ 300 milliards de F CFA, grâce à l'effet d'entraînement du numérique sur d'autres secteurs clés. Le fort potentiel du numérique sera également exploité pour la création d'emplois, avec pour objectif de générer 35 000 emplois directs dans le secteur numérique au Sénégal d'ici 2025, conformément aux objectifs du Plan Sénégal Émergent (PSE) (*Le Numérique au Sénégal : les chiffres-clés*, s. d.).

1.2 - La dimension des stratégies de l'économie numérique

a) Stratégie numérique

Le Sénégal s'est engagé dans une transformation numérique ambitieuse pour stimuler son développement économique et social. Cette vision est soutenue par plusieurs plans stratégiques qui visent à intégrer les technologies de l'information et de la communication (TIC) dans tous les aspects de la vie nationale. Le Plan Sénégal Émergent (PSE) et la Stratégie Sénégal Numérique 2025 (SN2025) (*Le Sénégal en passe de réussir sa transformation digitale ?*, s. d.) sont des initiatives qui visent à transformer le pays en un hub technologique régional, en promouvant l'innovation, en améliorant l'infrastructure numérique et en favorisant un environnement réglementaire propice au développement des TIC. D'abord ces stratégies ont pour but d'assurer que tous les citoyens, y compris ceux des zones rurales et marginalisées, ont accès à Internet et aux technologies numériques. Ensuite de soutenir les entreprises locales et les startups dans l'adoption des TIC pour accroître leur productivité et leur compétitivité à l'échelle mondiale. Enfin de mettre en place, des plateformes en ligne pour l'administration publique, la santé, l'éducation et d'autres services

essentiels. De ce fait, le Sénégal attirera de plus en plus d'investissements étrangers dans le secteur technologique, notamment pour les infrastructures et les startups.

Il y'a également la construction de son Parc des technologies numériques (PTN), premier Parc IT aux standards internationaux du pays érigé sur 25 hectares à Diamniadio, le nouveau pôle urbain. « À travers ce Parc, le Sénégal compte maintenir sa position de pays leader, innovant dans le domaine de l'économie numérique en Afrique subsaharienne, en attirant les investissements pour la transformation structurelle de notre économie », confie Bassirou Abdou Bâ, Ingénieur en informatique et Coordonnateur du projet au média local lesoleil.sn.

b) Education et compétences numériques

Le Sénégal dispose de plusieurs institutions d'enseignement supérieur offrant des programmes en informatique et en technologies de l'information, comme l'Université Cheikh Anta Diop, l'Université Gaston Berger (UGB), l'université Assane Seck et l'Institut Supérieur d'Informatique (ISI) etc.... Des initiatives comme le programme « Sénégal numérique 2025 » encouragent la formation aux compétences numériques et l'entrepreneuriat technologique. Des lycées techniques et des centres de formation professionnelle commencent à intégrer les compétences numériques dans leurs programmes. Les plateformes d'apprentissage en ligne, comme Coursera et Udemy, gagnent en popularité, offrant aux Sénégalais la possibilité d'acquérir des compétences numériques à leur propre rythme.

Bien que la couverture Internet s'améliore, il reste des disparités entre les zones urbaines et rurales. L'accès à Internet à haut débit est crucial pour l'enseignement en ligne et l'apprentissage des compétences numériques. De nombreuses écoles manquent de matériel informatique adéquat, bien que des initiatives soient en cours pour équiper les établissements avec des ordinateurs et des tablettes. Des partenariats avec des entreprises technologiques, telles que Microsoft, Sonatel academy (Tech, s. d.) , Simplon et Google, sont établis pour fournir des outils et des ressources éducatives numériques. Grâce aux initiatives de formation dans le domaine du numérique au Sénégal, pays de la « Teranga », une étude a recensé 10 000 codeurs professionnels en 2021, marquant une augmentation de 7,5 % par rapport à 2020, contre 6 % au Nigeria, au Maroc et en Éthiopie. À tel point que l'étude place le pays d'Afrique de l'Ouest parmi les puissances « émergentes » du code en Afrique (*Tech*, s. d.).

Section 2 : Défis et perspectives sur le marché sénégalais

Bien que le Sénégal ait fait des avancées notables dans le développement de son infrastructure numérique, il doit encore surmonter plusieurs défis pour pleinement exploiter son potentiel et assurer une transformation digitale inclusive et durable. Les zones rurales et les communautés défavorisées ont un accès limité aux infrastructures numériques, ce qui crée un fossé numérique significatif. Le coût d'accès à Internet reste prohibitif pour une partie significative de la population. Le déploiement de la fibre optique et d'autres infrastructures essentielles n'est pas encore suffisant pour assurer une connectivité stable et rapide dans tout le pays. La pandémie de COVID-19 a mis en lumière les inégalités d'accès aux outils numériques. Les mesures de confinement et le recours accru au télétravail ont exacerbé les différences entre ceux qui ont accès à Internet et ceux qui n'en ont pas. Cela a souligné l'urgence d'améliorer l'infrastructure numérique pour assurer une inclusion plus équitable. De nombreux enseignants manquent de formation adéquate en TIC et ont besoin de développement professionnel continu pour intégrer efficacement les technologies dans leur enseignement. Les investissements nécessaires pour équiper les écoles et former les enseignants sont importants.

Ainsi, pour pallier à ces manquements, les fonds publics et privés doivent être mobilisés pour répondre à ces besoins. L'Etat doit augmenter les investissements dans l'infrastructure numérique, cela inclut le déploiement de la fibre optique dans les zones rurales et l'amélioration de la connectivité globale. En plus, il doit réduire le coût de l'accès à Internet ; rendre l'Internet plus abordable pour tous les segments de la population est crucial pour une véritable inclusion numérique. Enfin, introduire des cours de codage et de programmation dès le jeune âge pour préparer les étudiants aux métiers de demain et stimuler l'innovation locale. Les programmes de formation professionnelle en compétences numériques, tels que le développement web, la cybersécurité, et l'analyse de données, peuvent répondre aux besoins du marché du travail.

2.1 - Potentiel numérique et accessibilités de la population aux services.

Le Sénégal, à l'instar de nombreux pays en développement, reconnaît l'importance cruciale de la transformation numérique pour stimuler son développement économique et social. La numérique offre des opportunités immenses pour améliorer l'accès aux services essentiels, renforcer la compétitivité économique, et promouvoir une croissance inclusive. Dans ce contexte, évaluer le potentiel numérique du Sénégal et analyser l'accessibilité des populations aux services numériques devient crucial pour identifier les leviers de croissance et

les stratégies à adopter. Pour ce faire, une série d'études et d'analyses des points suivants est nécessaire :

i) Accès à l'électricité à la population urbaine (PU) et à la population rurale (PR) du Sénégal.

Ci-dessous, nous présenterons une étude sur le niveau d'accès à l'électricité de la population urbaine et rurale sénégalaise de 2017 à 2021. Cette analyse mettra en lumière les disparités et les progrès réalisés au cours de ces périodes.

Années	2017	2018	2019	2020	2021
PU (%)	91,7	93,5	95,2	92	93,9
PR (%)	35,4	41,4	47,8	38,6	43,4

Source : (World Bank Open Data, s. d.)

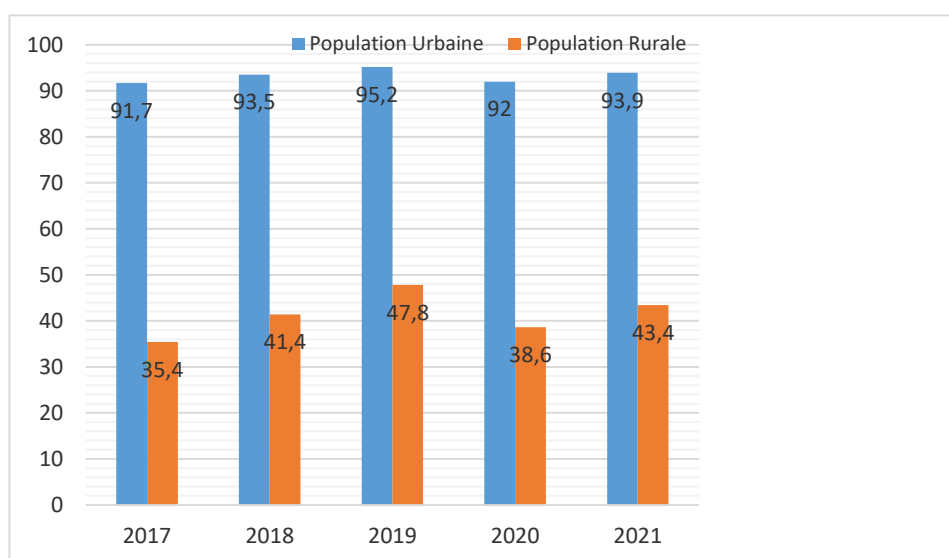


Figure 8 : Diagramme en barres illustrant le niveau d'accès à l'électricité de la population urbaine et rurale sénégalaise sur la période de 2017 à 2021.

Le diagramme en barres susmentionné illustre le niveau d'accès à l'électricité de la population urbaine et rurale sénégalaise sur la période de 2017 à 2021. Il révèle une forte disparité entre les zones rurales et urbaines, soulignant les inégalités d'accès à ce service essentiel.

En milieu urbain, le taux d'accessibilité à l'électricité est nettement plus élevé, reflétant une meilleure infrastructure et une concentration d'efforts pour desservir ces zones densément peuplées. En revanche, le milieu rural affiche un taux d'accès beaucoup plus bas, indiquant des défis persistants en matière de couverture et de distribution de l'électricité. Pour continuer à améliorer l'accès à l'électricité, des investissements continus dans les infrastructures électriques rurales et des politiques ciblées pour surmonter les défis spécifiques des zones

rurales seront essentiels. Cette avancée est cruciale non seulement pour améliorer la qualité de vie des habitants de ces régions, mais aussi pour ouvrir la voie à d'autres développements technologiques. Par exemple, l'augmentation de l'accès à l'électricité facilite le déploiement de la fibre optique, qui est essentielle pour fournir des connexions Internet rapides et fiables. Ainsi, une meilleure couverture électrique en milieu rural peut catalyser l'extension de l'accès à Internet, réduisant ainsi la fracture numérique entre les zones urbaines et rurales et favorisant une inclusion numérique plus large et plus équitable à travers le pays.

ii) Abonnement téléphone fixe au Sénégal (ATFS) de 2018 à 2022

Années	2018	2019	2020	2021	2022
Nombre d'ATFS	302243	207592	228774	261440	297046

Source : (World Bank Open Data, s. d.)

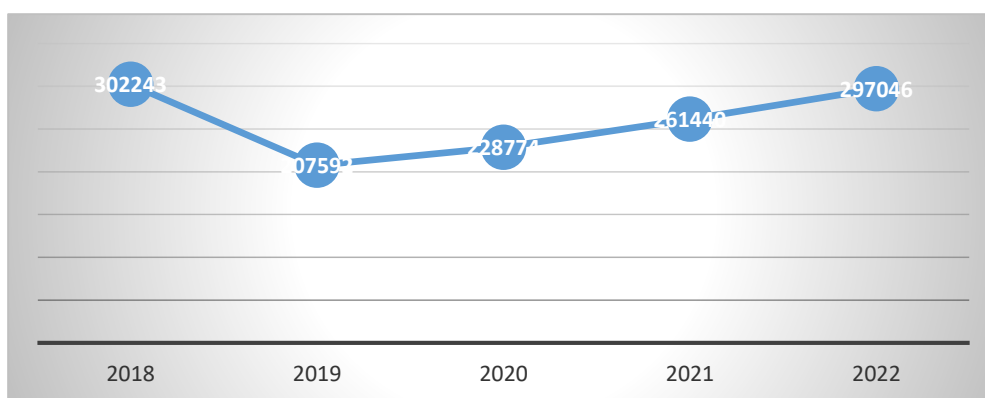


Figure 9 : Courbe d'évolution du nombre d'abonnés aux téléphone fixes de 2018 à 2022

Il y a une baisse marquée du nombre d'abonnés, passant de 302 243 en 2018 à 207 592 en 2019, soit une diminution d'environ 31%. Cette forte baisse peut être attribuée à l'introduction et à la popularisation des téléphones mobiles, les consommateurs ont progressivement délaissé les téléphones fixes, attirés par la mobilité, la flexibilité et les fonctionnalités avancées offertes par les mobiles. Les téléphones mobiles permettent aux utilisateurs de communiquer depuis n'importe où, offrant ainsi une liberté et une connectivité inégalées par les téléphones fixes, qui sont limités à des emplacements spécifiques.

De plus, les téléphones mobiles modernes intègrent une multitude de fonctionnalités, telles que l'accès à Internet, les applications de messagerie instantanée, les réseaux sociaux, la navigation GPS et bien plus encore, transformant l'appareil en un outil multifonction indispensable. Mais, on constate qu'après la baisse initiale de 2019, le nombre d'abonnés commence à augmenter à partir de 2020, passant de 207 592 à 228 774 abonnés en 2020, puis à 261 440 en 2021, et atteignant 297 046 en 2022. Cette augmentation progressive, bien que le nombre d'abonnés n'ait pas encore atteint le niveau de 2018, indique une stabilisation et une

reprise de l'utilisation des téléphones fixes. Les opérateurs de télécommunications peuvent avoir amélioré leurs offres de services fixes, rendant ces options plus attractives pour les entreprises et certains segments de consommateurs. Les téléphones fixes restent importants pour de nombreuses entreprises et institutions pour des raisons de fiabilité, de sécurité et de besoins spécifiques en communication.

iii) Abonnement données cellulaires de 2018 à 2022 (ADC)

Années	2018	2019	2020	2021	2022
Nombre d'ADC	16559942	17880594	19078948	19859981	20854830

Source : (World Bank Open Data, s. d.)

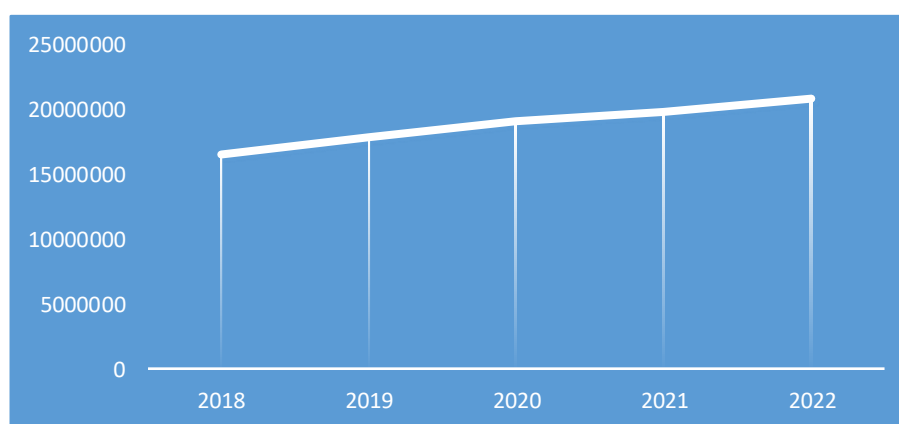


Figure 10 : Courbe d'évolution du nombre d'abonnés aux téléphone fixes de 2018 à 2022

On note une croissance évolutive de l'utilisation des données cellulaires au Sénégal de 2018 à 2022, et cette tendance s'est maintenue jusqu'à présent. Cette augmentation reflète plusieurs facteurs clés qui ont contribué à la transformation numérique du pays.

Tout d'abord, l'expansion de l'infrastructure des télécommunications a joué un rôle crucial. Les investissements massifs dans les réseaux de téléphonie mobile, y compris le déploiement de la 3G et plus tard de la 4G, ont permis d'améliorer la qualité et la couverture du service en plus des préparations pour le déploiement de la 5G. Cela a rendu les données cellulaires plus accessibles et abordables pour une grande partie de la population sénégalaise, tant en milieu urbain qu'en milieu rural.

Ensuite, la pénétration croissante des smartphones a également été un moteur important de cette croissance. Les smartphones, avec leurs capacités avancées et leur accès facile à internet, ont transformé les habitudes des utilisateurs. Ils ont permis à un nombre croissant de Sénégalais de se connecter aux réseaux sociaux, de naviguer sur le web, de consommer du contenu multimédia et d'utiliser diverses applications mobiles.

De plus, l'augmentation de la consommation de données a été stimulée par l'essor des services numériques et des plateformes en ligne. Le développement de l'e-commerce, des services de streaming, de l'éducation en ligne et des applications de santé a contribué à la demande croissante de données cellulaires. Ces services ont facilité l'intégration du numérique dans la vie quotidienne des citoyens, renforçant ainsi leur dépendance à l'égard des données mobiles.

Les politiques gouvernementales favorables et les initiatives visant à promouvoir l'inclusion numérique ont également joué un rôle important. Des programmes tels que le Plan Sénégal Émergent (PSE) et la Stratégie Sénégal Numérique 2025 ont encouragé l'adoption des technologies de l'information et de la communication (TIC), renforçant l'infrastructure numérique et soutenant l'accès aux services en ligne pour tous.

iv) Communications, informatique en % des exportations et importations des services TIC).

Année	2017	2018	2019	2020	2021
Communications, informatique, etc. (% des exportations de services, BDP)	55	51	48	69	54
Communications, informatique, etc. (% des importations de services, BDP)	27	26	31	63	56

Source : (World Bank Open Data, s. d.)

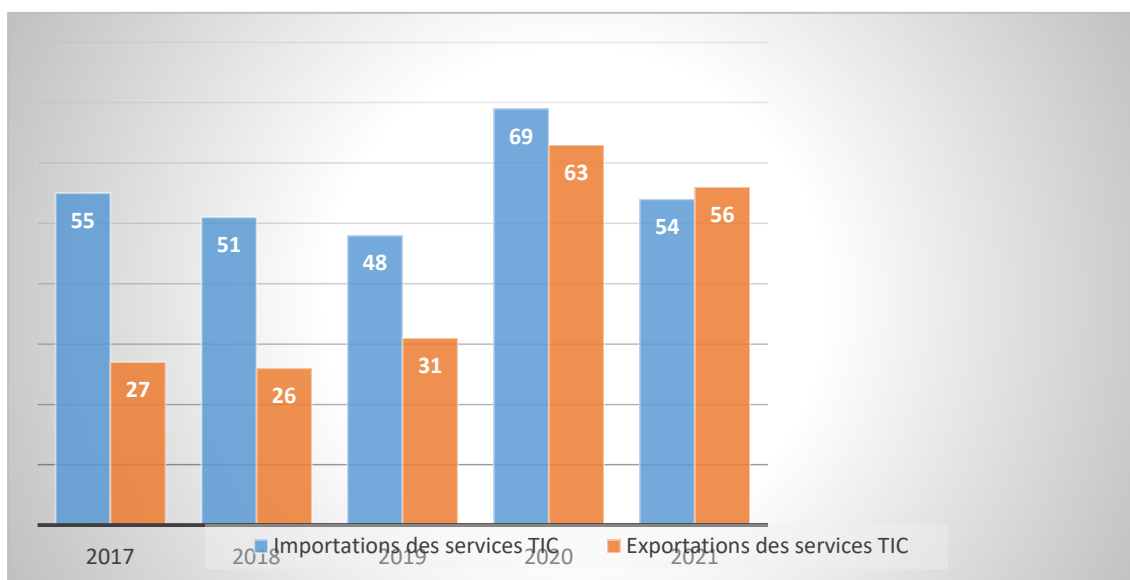


Figure 11 : Diagramme export/import des services TIC

Les exportations des services TIC ont diminué de 55% en 2017 à 48% en 2019. Cette tendance à la baisse pourrait indiquer des défis dans la compétitivité des services TIC sénégalais à l'international ou des fluctuations dans la demande mondiale. En 2020, il y a une

augmentation notable des exportations, atteignant 69%. Cette hausse pourrait être due à une augmentation de la demande pour les services TIC en raison de la transformation numérique accélérée par la pandémie de COVID-19, qui a entraîné une plus grande dépendance aux services numériques. En 2021, les exportations des services TIC ont diminué à 54%, ce qui pourrait refléter un retour partiel à la normale post-pandémie ou une intensification de la concurrence internationale. Les importations des services TIC sont restées relativement stables entre 27% et 31% de 2017 à 2019. Cela indique une demande constante pour les services TIC étrangers, nécessaire pour soutenir la croissance et la modernisation des infrastructures numériques au Sénégal. Les importations ont bondi à 63% en 2020, ce qui pourrait s'expliquer par la nécessité accrue d'importer des services TIC pour faire face aux exigences de la transformation numérique rapide provoquée par la pandémie. En 2021, les importations ont légèrement diminué à 56%, indiquant peut-être une stabilisation après l'importation massive de services TIC en 2020.

En résumé, de 2017 à 2019, les exportations étaient supérieures aux importations, suggérant une position favorable du Sénégal dans le commerce des services TIC. En 2020, malgré une augmentation des exportations, les importations ont considérablement augmenté, réduisant l'excédent commercial. En 2021, bien que les importations aient légèrement diminué, elles restent élevées par rapport aux niveaux d'avant 2020. L'augmentation des exportations et des importations en 2020 souligne l'impact de la pandémie sur la demande de services TIC, accélérant la transformation numérique à la fois domestiquement et à l'international. La baisse des exportations en 2021 après une forte augmentation en 2020 pourrait indiquer une concurrence accrue ou un ajustement post-pandémique du marché international des services TIC.

v) Serveurs internet sécurisés (SIS)

Année	2017	2018	2019	2020	2021
Nombre de SIS	106	136	272	316	441

Source : (World Bank Open Data, s. d.)

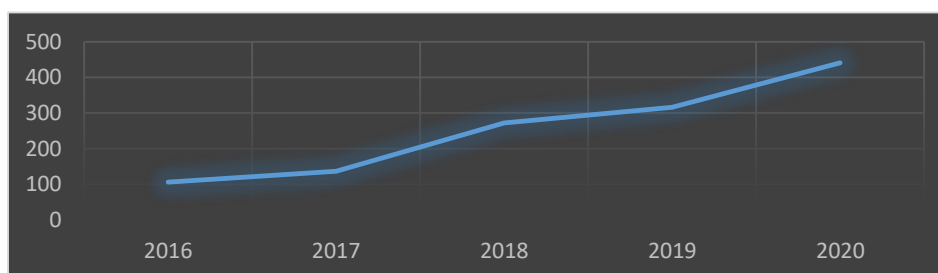


Figure 12 : Courbe d'évolution du nombre de serveurs sécurisés au Sénégal de 2016 à 2020

Le nombre de serveurs sécurisés au Sénégal augmente chaque année de manière significative entre 2016 et 2020. Cette tendance indique une croissance constante de l'infrastructure de sécurité en ligne dans le pays. En effet, cette augmentation reflète une adoption croissante des technologies de sécurité par les entreprises et les organisations au Sénégal. Cela est crucial pour protéger les données et les transactions en ligne, surtout avec la montée de la cybercriminalité. La forte croissance, en particulier entre 2017 et 2018, peut être associée à une poussée vers la transformation numérique, avec une augmentation des services en ligne et des e-commerces nécessitant des mesures de sécurité robustes. En capitalisant sur cette croissance, le Sénégal peut continuer à renforcer sa position dans l'économie numérique mondiale, tout en assurant la protection des données et des transactions de ses citoyens et entreprises.

2.2 - Cadrage et adaptation de la TradFi, de la DeFi et de la CeFi au Sénégal.

Le Sénégal, en tant que l'une des économies les plus dynamiques de l'Afrique de l'Ouest, est à un carrefour crucial de son développement financier. Avec une population jeune et une adoption rapide des technologies mobiles, le pays offre un terrain fertile pour l'intégration des systèmes financiers modernes. La finance, qui représente une part importante de l'économie sénégalaise, verrait son utilisation facilitée et ses rendements accrus par l'intégration des finances numériques. Les systèmes financiers traditionnels, centralisés et décentralisés présentent chacun des avantages distincts et des opportunités uniques pour renforcer l'inclusion financière, stimuler l'innovation et soutenir la croissance économique du pays. Cette étude explore les défis et les opportunités liés à l'adaptation des systèmes TradFi, DeFi et CeFi au Sénégal.

2.2.1 - Cadrage et adaptation de la TradFi au Sénégal

Le Sénégal dispose d'un réseau bancaire bien développé avec plusieurs banques commerciales et institutions de micro-finance. Ces institutions sont capables de fournir une gamme variée de services financiers tels que les comptes d'épargne, les prêts, et les assurances. Les banques et autres institutions financières traditionnelles sont régulées par la Banque Centrale des États de l'Afrique de l'Ouest (BCEAO), offrant ainsi une stabilité et une sécurité pour les dépôts et les transactions. Les institutions financières traditionnelles bénéficient de la confiance des clients grâce à leur présence physique, offrant un contact direct et des relations de longue date avec les communautés locales.

i) Défis de la TradFi

Malgré une infrastructure établie, une grande partie de la population, surtout dans les zones rurales, reste non bancarisée. Les barrières d'accès comprennent les coûts élevés des services financiers et le manque de proximité des agences bancaires. Les institutions financières traditionnelles sont souvent lentes à adopter de nouvelles technologies, ce qui limite leur capacité à offrir des services modernes et efficaces. Les processus administratifs lourds et les frais élevés associés aux services bancaires peuvent décourager les potentiels clients, surtout ceux à faible revenu.

ii) Stratégie de développement de la TradFi

Ainsi, pour améliorer l'adaptation de la finance traditionnelle (TradFi) au Sénégal, plusieurs stratégies peuvent être mises en place :

- Les institutions de micro-finance jouent un rôle crucial dans l'inclusion financière des populations rurales et à faible revenu. Leur soutien et leur expansion peuvent aider à atteindre les segments non bancarisés de la population.
- Utiliser des véhicules mobiles pour offrir des services bancaires dans les zones rurales et reculées peut réduire l'écart d'accès aux services financiers.
- Mettre en place des programmes d'éducation financière pour sensibiliser la population sur l'importance des services bancaires et à leur utilisation (LETORT, 2022).
- Encourager les banques à adopter et à promouvoir les services bancaires en ligne et mobiles pour offrir plus de commodité et d'accessibilité.
- Collaborer avec des startups FinTech pour développer des solutions innovantes telles que les paiements mobiles, les portefeuilles électroniques, et les plateformes de prêt Peer-to-Peer.
- Investir dans la technologie pour automatiser et digitaliser les processus bancaires, réduisant ainsi les coûts opérationnels en améliorant l'efficacité.
- Réduire la bureaucratie et simplifier les procédures pour l'ouverture de comptes, l'octroi de prêts, et autres services financiers.
- Revoir et ajuster les tarifs des services bancaires pour les rendre plus abordables, surtout pour les populations à faible revenu.

2.2.2 - Cadrage et adaptation de la DeFi et de la CeFi au Sénégal

Cadrer et adapter la DeFi et la CeFi au Sénégal est un défi complexe. L'accès au numérique dans le pays reste limité, ce qui représente un obstacle majeur à l'adoption de ces technologies financières avancées.

La DeFi, qui repose sur la technologie blockchain, est une innovation récente que beaucoup ignorent encore. L'adaptation de cette technologie au paysage financier sénégalais ne sera pas facile. La blockchain, nécessite une compréhension technique et une infrastructure numérique avancée, deux éléments qui ne sont pas encore largement disponibles ou maîtrisés au Sénégal. L'absence de sensibilisation et de formation adéquates sur la blockchain et les contrats intelligents complique davantage l'adoption de la DeFi.

En revanche, la CeFi, qui combine les services financiers traditionnels avec les technologies numériques centralisées, présente une voie d'adaptation plus facile pour le Sénégal. La CeFi utilise des plateformes d'échange centralisées comme Binance, qui sont plus compréhensibles et accessibles pour les utilisateurs habitués aux services financiers classiques. De plus, ces plateformes centralisées nécessitent moins de connaissance technique de la part des utilisateurs, facilitant ainsi leur adoption.

Cependant, malgré les déficits en infrastructures numériques, le Sénégal fait ses premiers pas vers l'intégration de la monnaie numérique et des technologies associées. Des progrès notables sont déjà observés à Dakar, la capitale du Sénégal. La ville accueille désormais une conférence panafricaine annuelle sur le Bitcoin et compte plus de 10 commerçants acceptant le Bitcoin. Il existe également un échange BTC *Peer-to-Peer* local et une communauté Bitcoin en croissance. La rapidité des progrès en matière de Bitcoin est impressionnante. La ville a accueilli la conférence DakarBTC Days à peine 10 mois après la première rencontre Bitcoin réelle du pays. Tout cela malgré un marché baissier brutal qui a considérablement entravé l'adoption du Bitcoin (Bitcoin au Sénégal, s. d.).

Ces développements montrent que, malgré les défis, il y a un réel potentiel pour l'adoption massive de la CeFi et de la DeFi au Sénégal. La dynamique actuelle, couplée à des initiatives éducatives et à l'amélioration de l'infrastructure numérique, pourrait favoriser une adoption significative de ces technologies financières dans les cinq prochaines années.

i) Opportunités et défis

L'adoption de la DeFi et de la CeFi au Sénégal peut significativement renforcer l'inclusion financière, en permettant à une plus grande partie de la population non bancarisée d'accéder à des services financiers via des technologies mobiles. Ces systèmes financiers réduisent les coûts de transaction et accélèrent les transferts de fonds, offrant des avantages notables par rapport aux services bancaires traditionnels. Cela est particulièrement plus avantageux pour les transferts d'argent internationaux, qui sont souvent nécessaires pour les familles sénégalaises recevant des envois de fonds de la diaspora. De ce fait, en stimulant l'innovation technologique, la DeFi et la CeFi peuvent transformer le Sénégal en un hub pour les startups FinTech, créant ainsi de nouveaux emplois et attirant des investissements. De plus, la transparence accrue de la blockchain et la sécurité des plateformes centralisées augmentent la confiance des utilisateurs. Enfin, ces technologies facilitent l'intégration économique régionale, renforçant ainsi le commerce et la coopération au sein de la Communauté Economique des États de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO).

Pour que la DeFi et la CeFi soient adoptées en masse au Sénégal, il est crucial de sensibiliser et de former la population sur les concepts de la blockchain, des smart contracts, et des cryptomonnaies. La compréhension de ces technologies est actuellement limitée, ce qui constitue un obstacle majeur à leur adoption. En plus, le développement de la DeFi et de la CeFi nécessite un cadre réglementaire clair et bien défini. Actuellement, les régulations financières au Sénégal ne couvrent pas les aspects des technologies financières émergentes. L'absence de régulations spécifiques crée des incertitudes et des risques pour les utilisateurs et les investisseurs potentiels. Enfin, l'infrastructure de paiement et l'accès à Internet demeurent insuffisants, surtout dans les zones rurales. Une connexion Internet stable et l'accès aux technologies mobiles sont essentiels pour utiliser les services de la DeFi et de la CeFi.

ii) Perspectives et stratégies

La mise en place de programmes de formation et de sensibilisation est cruciale. Il s'agit de développer des ateliers, des cours en ligne, et des campagnes de sensibilisation pour informer la population sur les avantages et les utilisations pratiques de la blockchain, des smart contracts, et des cryptomonnaies. Des initiatives similaires ont été mises en place au Nigéria, faisant de ce pays l'un des plus grands utilisateurs de cryptomonnaies en Afrique. Grâce à ces programmes, le Nigéria est devenu le leader mondial en termes de volume d'échanges de cryptomonnaies *Peer-to-Peer* (P2P), selon Chainalysis. En 2021, le Sénégal comptait 10 000 codeurs professionnels, et ce nombre devrait augmenter en 2024. Cette

croissance permettra au pays de former un nombre croissant de jeunes compétents en technologies blockchain et en smart contracts. Ces compétences sont cruciales pour faciliter l'adoption de la finance numérique, tant pour la DeFi que pour la CeFi. En développant une main-d'œuvre qualifiée, le Sénégal pourra non seulement renforcer son secteur technologique mais aussi accélérer l'intégration des systèmes financiers modernes. Cela contribuera à la transformation numérique du pays et à son inclusion financière.

En plus, les autorités sénégalaises doivent travailler sur l'élaboration de lois et de réglementations spécifiques pour encadrer les finances numériques. Un cadre réglementaire clair permettrait de sécuriser les transactions, de protéger les utilisateurs et de promouvoir un environnement favorable aux investisseurs. Des réglementations bien définies aideraient également à intégrer ces technologies dans le système financier existant de manière harmonieuse.

En outre, elles doivent investir dans l'amélioration de l'infrastructure de paiement. Cela inclut le développement de réseaux de paiement numériques et l'amélioration des services bancaires mobiles. Une infrastructure de paiement robuste facilitera les transactions financières et encouragera l'utilisation des services DeFi et CeFi.

Enfin, l'accès à Internet et aux technologies mobiles doit être élargi et amélioré. Le gouvernement et les entreprises de télécommunications doivent collaborer pour garantir une couverture Internet plus étendue, en particulier dans les zones rurales. La promotion de l'accès à des smartphones abordables et la réduction des coûts de données contribueront également à l'adoption massive de ces technologies financières.

2.3 - Cas d'application de smart contracts dans le marché céréalier du Sénégal

Dans cette section, nous examinerons les problèmes liés à l'utilisation des contrats traditionnels dans le marché céréalier du Sénégal. Ensuite, nous explorerons les avantages de l'adoption des smart contracts dans ce marché.

a) Problèmes liés aux processus de contrats traditionnels dans le marché céréalier du Sénégal

Le marché céréalier du Sénégal est confronté à plusieurs problèmes liés au processus de contrat traditionnel. Premièrement, le manque de standardisation des contrats entraîne souvent des malentendus et des litiges entre les parties impliquées. Les termes des contrats sont souvent vagues ou mal définis, ce qui complique l'application des accords et la résolution des différends. L'absence de transparence dans les transactions rend difficile la vérification des termes du contrat et la traçabilité des produits, augmentant ainsi le risque de fraude et de corruption.

En plus, les délais de paiement sont souvent longs et imprévisibles, ce qui affecte la liquidité des agriculteurs et des commerçants et réduit leur capacité à investir dans la production future. La dépendance excessive aux intermédiaires traditionnels augmente les coûts des transactions et réduit les marges bénéficiaires des producteurs. En outre, la faible pénétration des technologies numériques et des infrastructures de communication limite l'usage des contrats électroniques, qui pourraient améliorer la transparence et l'efficacité des transactions.

Enfin, l'absence de régulations claires et de protection juridique pour les parties contractantes exacerbe les problèmes de confiance et de sécurité dans le marché céréalier du Sénégal. Ces défis nécessitent des réformes pour moderniser les processus contractuels et renforcer la confiance des acteurs du marché.

b) Impact de l'application des smart contracts dans le marché céréalier du Sénégal

L'introduction des contrats intelligents dans le marché du Sénégal revêt d'une importance cruciale pour plusieurs raisons. Tout d'abord, ces contrats permettent d'automatiser et d'accélérer les transactions commerciales, réduisant ainsi les délais et les coûts associés aux processus manuels. Ensuite, ils renforceront la sécurité des transactions grâce à la technologie blockchain, offrant un environnement commercial plus sûr et transparent. La transparence accrue des contrats intelligents permettra à toutes les parties d'accéder à l'historique des transactions de manière vérifiable, renforçant ainsi la confiance entre les acteurs du marché. De plus, les contrats intelligents faciliteront la gestion de contrats complexes en automatisant l'exécution de clauses et de conditions préalablement définies. Leur adoption pourrait également favoriser l'inclusion financière en offrant un accès plus large aux services financiers, notamment pour les populations non bancarisées. En outre, les contrats intelligents réduisent les risques de fraude et de falsification grâce à leur immuabilité et à leur auditabilité. Cependant, leur intégration nécessitera une collaboration étroite entre les acteurs du marché, ainsi que des efforts supplémentaires pour surmonter les défis réglementaires, technologiques et d'interopérabilité. Enfin, l'utilisation de contrats intelligents pourrait contribuer à moderniser et à dynamiser le marché céréalier sénégalais, favorisant ainsi son développement économique et financier à long terme.

c) Avantages de l'application des smart contracts dans le marché céréalier du Sénégal

Entre 2015 et 2019, la production de céréales au Sénégal, incluant le riz paddy, le mil, le maïs, le sorgho et le fonio, a joué un rôle crucial dans la sécurité alimentaire du pays. Ces cultures constituent des éléments fondamentaux de l'agriculture sénégalaise, répondant à la demande locale et contribuant à l'économie rurale. En 2019, la part des céréales dans le PIB du Sénégal était de 9,6 % (ANSD), soulignant leur importance économique. La valeur ajoutée des céréales représentait 65,8 % (ANSD), reflétant leur impact significatif sur le secteur agricole. Cette contribution démontre que les céréales ne sont pas seulement vitales pour l'alimentation, mais aussi pour la croissance économique et la stabilité rurale.

Tableau 9 : Performance céréales (Riz paddy, Mil, Maïs, Sorgho, Fonio) Sénégal 2015 à 2019

Année	2015	2016	2017	2018	2019
Production céréalière (t)	2152245	2124668	2516465	2889022	2768799

Source : ANSD

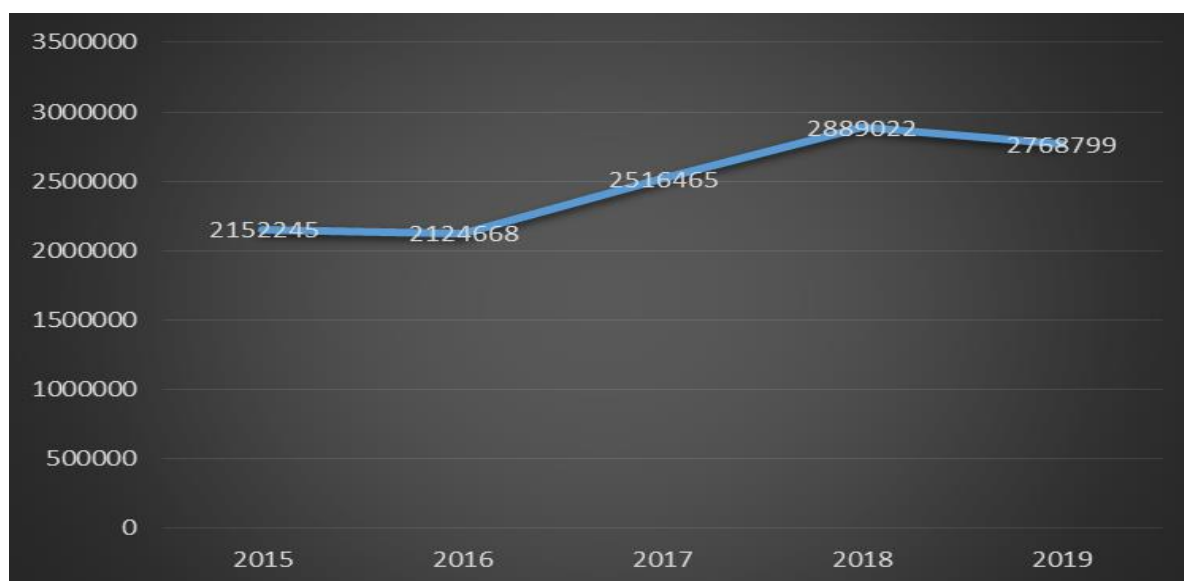


Figure 13 : Courbe d'évolution du marché céréalier du Sénégal

La production céréalière a montré une légère baisse entre 2015 et 2016, passant de 2 152 245 tonnes à 2 124 668 tonnes. Une augmentation notable s'est produite en 2017 avec une production de 2 516 465 tonnes, suivie par une augmentation continue en 2018 atteignant 2 889 022 tonnes. En 2019, une légère diminution à 2 768 799 tonnes a été observée, mais la production reste supérieure aux niveaux de 2015 et 2016. Les fluctuations indiquent une variabilité significative dans la production ou les transactions cérésières, influencée par

divers facteurs comme les conditions climatiques, les politiques agricoles et les infrastructures du marché.

Ainsi L'intégration des smart contracts dans le marché céréalier du Sénégal pourrait offrir des solutions efficaces pour surmonter les défis de variabilité et de complexité. En automatisant et en sécurisant les transactions, les smart contracts augmenteraient la transparence, réduiraient les coûts, et garantiraient une exécution rapide et fiable des contrats. Cette innovation pourrait ainsi contribuer à une meilleure gestion des ressources et à une stabilité accrue du marché, favorisant une croissance durable dans le secteur céréalier

Conclusion

Le Sénégal, en tête de la transformation numérique en Afrique de l'Ouest, se positionne comme un leader régional en intégrant les technologies de l'information et de la communication (TIC) dans son tissu économique. Cette avancée vers un écosystème numérique sophistiqué ouvre des perspectives considérables pour dynamiser la croissance économique, améliorer l'efficacité des services publics et accroître l'accès aux services financiers pour ses citoyens. Le paysage numérique sénégalais, riche et en évolution, offre des opportunités immenses pour les différents systèmes financiers, qu'ils soient traditionnels, décentralisés ou centralisés. Néanmoins, pour réaliser pleinement ce potentiel, le Sénégal doit surmonter plusieurs défis, notamment en matière d'infrastructure, de réglementation et de formation. En s'attaquant à ces obstacles, le Sénégal peut non seulement renforcer son positionnement numérique mais aussi servir de modèle pour d'autres nations africaines en quête de transformation digitale.

CHAPITRE 4 : PROCÉDÉS TECHNIQUES ET
SCHÉMAS COMPARATIFS ENTRE FINANCE
DÉCENTRALISÉE, FINANCE TRADITIONNELLE ET
FINANCE CENTRALISÉE

Introduction

La finance est un domaine en constante évolution, façonné par les progrès technologiques et les changements socio-économiques. Trois modèles se distinguent aujourd'hui : la finance classique ou traditionnelle, fondée sur des structures centralisées et réglementées, la finance décentralisée (DeFi), émergente, basée sur des technologies blockchain et des contrats intelligents, la finance centralisée (CeFi), quant à elle, combine des éléments de TradFi et de DeFi. CeFi utilise des plateformes centralisées pour offrir des services financiers basés sur les cryptomonnaies, tout en conservant des structures de gouvernance centralisées. Cette étude comparative vise à explorer les différences et les similitudes entre ces trois approches, en examinant leurs structures et leurs fonctionnements.

Section 3 : Fonctionnement et structure de la TradFi, de la DeFi et de la CeFi

3.1 - La finance traditionnelle (TradFi)

Une banque classique, également appelée banque traditionnelle, est une institution financière qui offre une gamme de services financiers traditionnels aux particuliers, aux entreprises et aux institutions. Les banques classiques proposent généralement une variété de services bancaires de base, tels que des comptes courants, des comptes d'épargne, des cartes de crédit et des prêts.

En plus, les banques classiques jouent un rôle d'intermédiaire financier en collectant des dépôts auprès des clients et en accordant des prêts à ceux qui en ont besoin, ce qui leur permet de générer des intérêts sur les prêts accordés (Tanguy, 2023.). Les banques classiques ont généralement une structure centralisée, avec un siège social et un réseau de succursales physiques où les clients peuvent effectuer des opérations bancaires en personne.

Enfin les banques classiques sont soumises à une réglementation stricte émanant des autorités gouvernementales, telles que les banques centrales et les agences de réglementation financière, pour assurer la stabilité du système financier et protéger les intérêts des clients (de Coussergues et al., 2017). Dans de nombreux pays, les dépôts des clients dans les banques classiques sont généralement assurés par des programmes d'assurance-dépôts gouvernementaux jusqu'à un certain montant, offrant ainsi une garantie de sécurité aux clients.

3.1.1 - Structure organisationnelle de la TradFi

Ci-dessous, nous avons le schéma structurel de la TradFi illustrant la façon dont la finance traditionnelle est connectée au client.

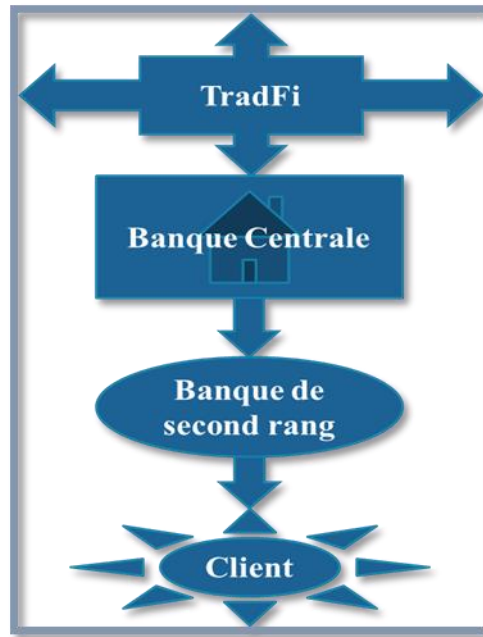


Figure 14 : Schéma structure organisationnelle de la TradFi

Voici une explication détaillée de chaque composant du schéma :

- La finance traditionnelle englobe l'ensemble du système financier, y compris les banques de second rang, les marchés financiers, les assureurs, etc.
- La banque centrale est l'autorité monétaire d'un pays ou d'une région. Elle régule la politique monétaire, émet la monnaie nationale et supervise les banques commerciales.
- Les banques de second rang sont des intermédiaires financiers qui agissent entre la banque centrale et les clients. Elles offrent des services bancaires plus spécialisés que les banques de détail, tels que les prêts immobiliers, les services de gestion de patrimoine, etc.
- Le client peut accéder aux services financiers via les banques de second rang ou directement à travers d'autres institutions financières ou marchés.

3.1.2 - Mécanisme et fonctionnement de la TradFi

Les banques, les compagnies d'assurance, les fonds de pension, les sociétés de gestion d'actifs et les bourses constituent les principaux acteurs de la finance traditionnelle. Ces institutions offrent une gamme de services financiers, tels que la gestion de comptes courants, l'émission de prêts, la gestion de portefeuille, la négociation d'actions et d'obligations, ainsi que la fourniture de produits d'assurance. Les banques classiques collectent des dépôts auprès de leurs clients, qu'il s'agisse de particuliers, d'entreprises ou d'autres institutions. Ces dépôts

constituent une source de financement pour la banque, lui permettant de prêter de l'argent et de générer des revenus sous forme d'intérêts sur les prêts accordés (Gobat, s. d.).

En plus, elles accordent des prêts à leurs clients, que ce soit pour des besoins personnels (prêts hypothécaires, prêts automobiles, etc.) ou pour des besoins commerciaux (prêts aux entreprises, lignes de crédit, etc.). Les prêts sont accordés sous réserve de certaines conditions, telles que la solvabilité du client, le montant du prêt et les taux d'intérêt applicables. En plus, elles doivent maintenir des réserves de liquidités pour répondre aux besoins de leurs clients en matière de retraits et pour respecter les exigences réglementaires. La gestion des réserves implique de surveiller de près les flux de trésorerie entrants et sortants, ainsi que les exigences de réserve imposées par les autorités de réglementation.

Enfin, elles agissent comme intermédiaires dans les transactions financières entre les différents acteurs économiques. Ainsi, pour gérer les risques, elles utilisent des techniques de gestion des risques telles que l'évaluation de crédit, la diversification des portefeuilles, les techniques de couverture et les tests de résistance pour atténuer ces risques.

3.2 - La finance décentralisée (DeFi)

La DeFi, contrairement à la finance traditionnelle (TradFi), opère sur des plateformes décentralisées basées sur la blockchain, offrant ainsi un accès plus large et sans autorisation à une gamme diversifiée de services financiers. Alors que la TradFi est souvent limitée par des structures centralisées et des intermédiaires traditionnels, la DeFi permet une automatisation transparente des transactions grâce à l'utilisation de contrats intelligents, réduisant ainsi les frais et les délais associés aux processus traditionnels.

3.2.1 - Schéma structurel de la DeFi

Voici un schéma structurel qui montre comment la finance décentralisée est reliée au client.

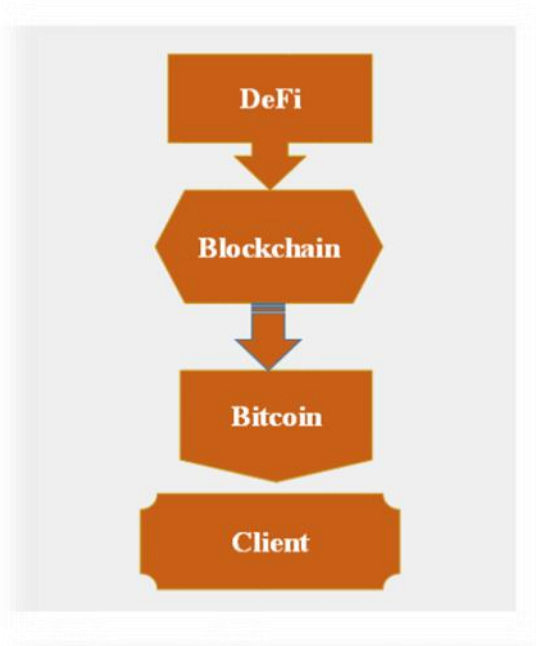


Figure 15 : Schéma structure organisationnelle de la DeFi

Voici une explication détaillée de chaque composant du schéma :

- Les protocoles DeFi sont des ensembles de contrats intelligents qui fournissent divers services financiers tels que le prêt, l'échange, la création de marché, etc.
- La DeFi repose sur une blockchain publique comme Ethereum. C'est là que les transactions et les contrats intelligents sont enregistrés de manière sécurisée et immuable.
- Bitcoin est la cryptomonnaie spécifique détenue par le client dans son portefeuille. Il peut être utilisé pour diverses activités financières dans l'écosystème de la DeFi, telles que le trading, le prêt, etc.
- Clients (fournisseurs de Liquidité) : Ce sont les individus ou les entités qui fournissent des liquidités aux protocoles DeFi en déposant leurs fonds dans des pools de liquidité. Cela permet d'assurer la disponibilité des fonds pour les transactions et les échanges.

NB : Il existe diverses cryptomonnaies parmi lesquelles choisir, mais pour notre étude, nous avons opté pour Bitcoin comme moyen d'échange avec le client.

3.2.2 - Fonctionnement de la DeFi

Le mécanisme de DeFi est associé aux cryptomonnaies, qui reposent sur la blockchain et les smart contracts. Pour offrir des services financiers, la DeFi se base sur le crypto et le principe du contrat intelligent, en éliminant tout intermédiaire. De ce fait, pour profiter du

système financier décentralisé, les utilisateurs utilisent des applications décentralisées (Dapps) qui fournissent des services P2P c'est-à-dire de personne à personne, mais via un portefeuille de cryptomonnaies (SHARMA - 2023 - What Is Decentralized Finance (DeFi) and How Does .html, s. d.).

Ces applications sont des programmes installés sur un appareil comme un ordinateur personnel, une tablette ou un smartphone qui facilitent son utilisation. Ainsi, les propriétaires de cryptomonnaies (Bitcoin, Ethereum etc.) peuvent accéder aux services et produits financiers sans passer par les banques traditionnelles, sans présenter de reçus ou sans ouvrir de compte. Vous pouvez négocier des prêts (à l'aide de smart contracts), acheter des produits dérivés (versions cryptographiques DeFi de contrats à terme et d'autres produits) et miser des cryptomonnaies pour gagner des intérêts sous forme de récompenses (« Staking »).

3.3 - Finance centralisée (CeFi)

La CeFi constitue une intersection essentielle entre le système financier traditionnel et l'écosystème décentralisé des cryptomonnaies. En CeFi, les services sont fournis par des entités centralisées comme les bourses de cryptomonnaies populaires, notamment Coinbase et Kraken. Ces plateformes fonctionnent sous une structure centralisée qui inclut des processus d'enregistrement obligatoires des clients, couramment appelés *Know Your Customer (KYC)* (connaître son client). Grâce à cette configuration, les utilisateurs peuvent acheter, vendre et détenir divers actifs décentralisés tels que les cryptomonnaies et les *NFT (No Fungibles Token du français tokens non fongibles)* (Finance centralisée sur Blockchain (CeFi), s. d.). La CeFi combine ainsi les aspects de sécurité, de régulation et de familiarité des systèmes financiers traditionnels avec les innovations et les opportunités offertes par les actifs numériques. En permettant l'accès à ces actifs tout en respectant les réglementations financières, la CeFi joue un rôle crucial dans l'adoption et l'intégration des technologies de la blockchain dans l'économie globale. Elle crée une passerelle pour les utilisateurs traditionnels vers le monde des cryptomonnaies, facilitant une transition plus fluide et plus sécurisée.

3.3.1 - Schéma structurel de la CeFi

Le schéma structurel de la CeFi présenté ci-dessous montre les relations et les flux entre différents acteurs et éléments.

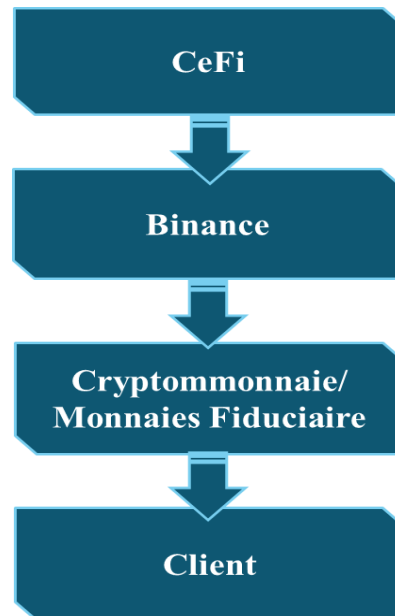


Figure 16 : Schéma de la structure organisationnelle de la CeFi

Voici une explication détaillée de chaque composant du schéma :

- **CeFi** : agit comme un intermédiaire entre les utilisateurs et les services financiers traditionnels ainsi que les actifs décentralisés, facilitant les échanges, la garde et les transactions de cryptomonnaies.
- **Binance** : est l'un des principaux exemples de plateformes CeFi. C'est une bourse de cryptomonnaies qui permet aux utilisateurs d'acheter, de vendre et d'échanger divers actifs numériques. Binance joue le rôle de l'intermédiaire centralisé, offrant une plateforme pour effectuer des transactions de cryptomonnaies. Elle applique des processus de vérification KYC (*Know Your Customer*) pour garantir la conformité réglementaire et la sécurité des transactions.
- **Cryptomonnaie/Monnaies Fiduciaires** : Ce bloc représente les différents types d'actifs que les utilisateurs peuvent échanger sur Binance, y compris les cryptomonnaies (comme Bitcoin, Ethereum) et les monnaies fiduciaires (comme le dollar américain, l'euro ou le CFA). Les utilisateurs peuvent convertir leurs fonds entre cryptomonnaies et monnaies fiduciaires. Binance facilite ces conversions en fournissant des paires de trading et des services de garde pour ces actifs.
- **Client** : le client est l'utilisateur final de la plateforme CeFi, comme Binance. Les clients peuvent être des particuliers ou des institutions cherchant à investir, échanger ou utiliser des cryptomonnaies. Les clients interagissent avec Binance pour acheter, vendre, stocker et transférer des cryptomonnaies. Ils peuvent

également convertir leurs actifs en monnaies fiduciaires et les retirer sur leurs comptes bancaires.

NB : Il existe plusieurs plateformes d'échanges CeFi telles que Binance, Kraken, Coinbase, etc. Pour notre étude, nous avons choisi de nous concentrer sur Binance.

3.3.2 - Fonctionnement de la CeFi

Des entités telles que Coinbase, Kraken, Binance et autres agissent comme des intermédiaires centralisés. Elles gèrent les transactions, les échanges et la garde des cryptomonnaies. Les utilisateurs doivent s'inscrire sur ces plateformes et passer par des procédures de vérification d'identité (KYC). Cela permet de se conformer aux réglementations anti-blanchiment (AML) et de prévenir les activités illégales. Les plateformes CeFi comme Coinbase, Kraken ou Binance offrent un niveau de support client qui inspire la confiance entre les clients, bien qu'ils soient la cible d'attaques de sécurité, ces échanges centralisés sont considérés comme fiables par de nombreux utilisateurs. Ils offrent une gamme de services, notamment des prêts, des emprunts et des transactions de gré à gré, et peuvent traiter les conversions fiduciaires avec plus de flexibilité que les plateformes décentralisées (Finance centralisée sur Blockchain (CeFi), s. d.).

Les clients des plateformes d'échange centralisées (CEX *centralize exchange*) peuvent transférer des fonds depuis le système financier traditionnel, comme un compte bancaire, vers la plateforme pour acheter des cryptomonnaies et les stocker dans un portefeuille intégré à leur compte. Ils peuvent également reconvertir des cryptomonnaies en monnaie fiduciaire et retirer le montant sur leur compte bancaire, y compris les cryptomonnaies déposées à partir d'un portefeuille externe. Après l'achat de cryptomonnaies sur une CEX, les clients ont la possibilité de les retirer dans leur propre portefeuille, leur permettant ainsi de contrôler les clés privées associées. Les clients peuvent aussi déposer des cryptomonnaies depuis leurs propres portefeuilles, les échanger contre d'autres cryptomonnaies ou les convertir en devises, puis transférer les fonds résultants sur leur compte bancaire (Qu'est-ce que la CeFi ?, s. d.-b).

Section 4 : Différence entre TradFi, DeFi et CeFi

TradFi, DeFi, et CeFi offrent toutes des services financiers similaires, mais ils divergent notablement par leurs modes de fonctionnement.

TradFi se caractérise par l'utilisation d'intermédiaires et la conformité à des réglementations strictes. Les transactions dans TradFi sont gérées par des tiers, tels que les banques et autres institutions financières, suivant des normes et des critères définis par les autorités de régulation. Les utilisateurs de TradFi doivent passer par ces intermédiaires pour effectuer leurs transactions, ce qui peut engendrer des délais et des coûts élevés. Les services financiers traditionnels sont également limités par des horaires d'ouverture et de fermeture, réduisant ainsi l'accessibilité des fonds en cas d'urgence.

DeFi, en revanche, fonctionne sans intermédiaire et n'est soumis à aucune réglementation centralisée. Les services DeFi sont autonomes et reposent sur des contrats intelligents, éliminant le besoin d'intermédiaires. De plus, les services financiers décentralisés sont accessibles tous les jours, 24h/24, offrant ainsi une disponibilité continue des fonds. Les transferts de fonds dans DeFi se font en moins de 15 minutes à moindre coût, contrairement aux institutions traditionnelles où de telles transactions peuvent prendre plusieurs jours et être coûteuses.

CeFi combine des éléments de TradFi et DeFi. Comme TradFi, CeFi utilise des plateformes centralisées pour offrir des services financiers, mais ces services sont souvent basés sur les cryptomonnaies, comme dans DeFi. Cependant, CeFi maintient des structures de gouvernance centralisées, avec des entreprises telles que Binance ou Coinbase agissant comme intermédiaires. Ce modèle permet une gestion plus simple et une certaine familiarité pour les utilisateurs habitués aux services financiers traditionnels, tout en bénéficiant des innovations technologiques de DeFi. CeFi peut offrir des transactions rapides et des coûts potentiellement réduits par rapport à TradFi, tout en restant soumis à des réglementations plus strictes que DeFi. La différence majeure entre DeFi et CeFi réside dans le type de blockchain utilisé. DeFi repose sur des blockchains non permissionnées, principalement Ethereum, tandis que CeFi utilise des blockchains permissionnées c'est-à-dire privée (DeFi, CeFi vs TradFi | Centre des Professions Financières, s. d.).

En résumé, la principale différence entre ces trois systèmes réside dans la manière dont ils gèrent les transactions et la régulation. TradFi est fortement régulé et repose sur des intermédiaires, DeFi est décentralisé et autonome, et CeFi combine des aspects de centralisation, de régularisation avec l'usage de technologies blockchains. Ces distinctions

influencent la rapidité, le coût, et la disponibilité des services financiers offerts par chacun. Ci-dessous, nous avons un tableau récapitulatif mettant en lumière les principales différences entre TradFi, DeFi, et CeFi, aidant ainsi à mieux comprendre les avantages et les limitations de chaque modèle financier.

Tableau 10 : Récapitulatif des différences entre TradFi, DeFi et CeFi

Aspect	TradFi	DeFi	CeFi
Intermédiaires	Oui	Non	Oui
Régulation	Réglémentée par les autorités	Non réglémentée	Réglémentée (souvent moins strictement que TradFi)
Autonomie	Non	Oui	Partielle
Disponibilité	Limité par les horaires d'ouverture	24h/24, 7j/7	24h/24, 7j/7
Vitesse des transactions	Souvent lente	Rapide (moins de 15 minutes)	Rapide
Coût des transactions	Élevé	Faible	Variable (souvent plus faible que TradFi)
Exemples	Banques, institutions financières	Uniswap, Aave	Binance, Coinbase

Source : Conception de l'auteur

Section 5 : Etude comparative des schémas structurels organisationnels de la TradFi, de la DeFi et de la CeFi.

Une étude comparative du schéma structurel organisationnel de la TradFi, de la DeFi et de la CeFi offre un aperçu fascinant des différences fondamentales entre ces trois approches financières. Une telle étude permettrait de mieux comprendre les avantages et les défis de chaque approche ainsi que les implications pour l'avenir du système financier mondial.

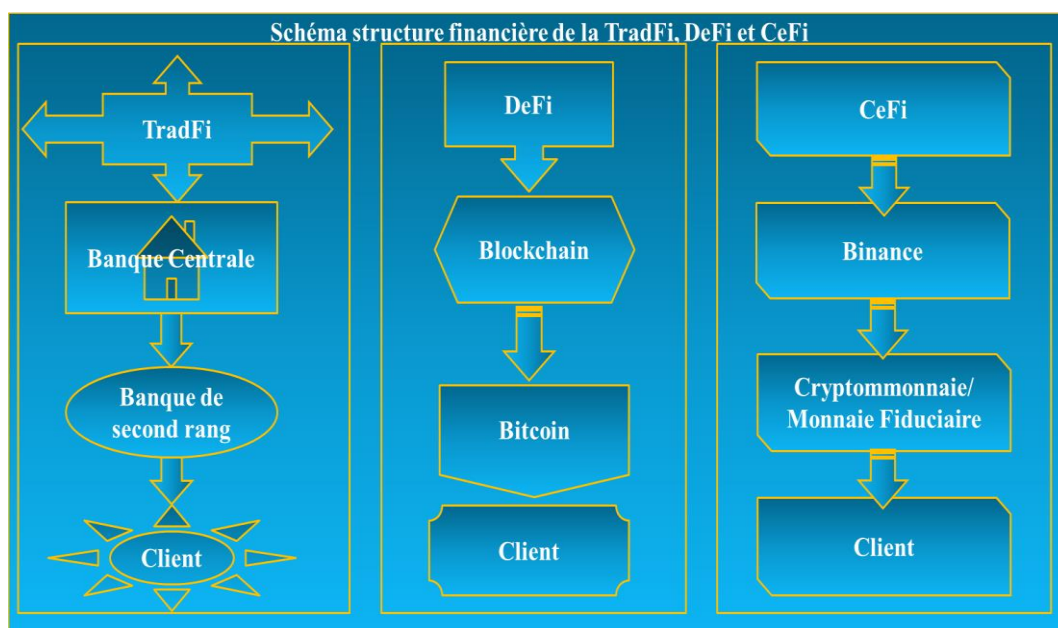


Figure 17 : Schéma structure organisationnelle de la TradFi, DeFi et de la CeFi

► Explication de l'approche comparative

Dans la TradFi, la gestion des fonds repose principalement sur les banques centrales, qui agissent en tant qu'autorités monétaires nationales ou internationales. Les banques de second rang, quant à elles, agissent en tant qu'intermédiaires entre les banques centrales et les clients finaux. Elles utilisent les fonds reçus des banques centrales pour fournir des services bancaires aux entreprises et aux particuliers.

Dans le contexte de la DeFi, les fonds sont gérés par des contrats intelligents autonomes et exécutés sur la blockchain. Cette dernière est un registre numérique décentralisé et immuable qui enregistre toutes les transactions de manière transparente et sécurisée. Ces contrats intelligents éliminent le besoin d'intermédiaires centralisés comme les banques centrales, offrant ainsi une alternative plus efficace et transparente pour la gestion des fonds.

La CeFi, quant à elle, fonctionne comme une passerelle entre la TradFi et la DeFi. Les plateformes CeFi, telles que Binance, agissent en tant qu'intermédiaires centralisés, permettant aux utilisateurs de transférer des fonds depuis des comptes bancaires traditionnels

pour acheter et vendre des cryptomonnaies. Les plateformes CeFi offrent des services similaires à ceux des banques de second rang dans la TradFi pour les actifs numériques. Elles conservent des éléments de centralisation et de régulation, ce qui permet d'assurer une certaine sécurité et conformité, tout en adaptant les services financiers traditionnels au monde des cryptomonnaies et des actifs numériques.

En ce qui concerne la distribution des fonds aux clients, la TradFi utilise les banques de second rang comme intermédiaires. Les clients effectuent des dépôts auprès de ces banques, qui utilisent ensuite ces fonds pour fournir une gamme de services financiers aux clients, tels que des prêts, des comptes d'épargne, des cartes de crédit, etc. Cependant, ce processus est souvent associé à des frais, des délais et des limitations géographiques.

D'un autre côté, la DeFi utilise des cryptomonnaies telles que Bitcoin pour fournir directement des services aux clients. Les clients peuvent interagir avec des protocoles DeFi via des portefeuilles numériques, sans avoir besoin de passer par des intermédiaires. Cela offre des avantages en termes de rapidité, de coût et de globalité, car les transactions peuvent être effectuées en temps réel et à moindre coût, sans restriction géographique.

La CeFi combine des éléments de la TradFi et de la DeFi. Les clients peuvent utiliser des plateformes CeFi pour acheter, vendre et échanger des cryptomonnaies en utilisant des monnaies fiduciaires. Bien que ces plateformes soient centralisées et réglementées, elles offrent un accès simplifié aux actifs numériques et une transition plus fluide entre les systèmes financiers traditionnels et décentralisés.

En somme, la DeFi remplace les structures centralisées de la TradFi par des technologies décentralisées telles que la blockchain et les cryptomonnaies. Cela permet une gestion plus efficace des fonds et une distribution directe des services aux clients, offrant ainsi une alternative plus transparente, rapide et globale que la finance traditionnelle. La CeFi, elle, joue un rôle d'intermédiaire en facilitant l'accès aux cryptomonnaies tout en maintenant une structure centralisée et conforme aux réglementations.

5.1 - Avantages et inconvénients des acteurs du schéma structurel de la TradFi

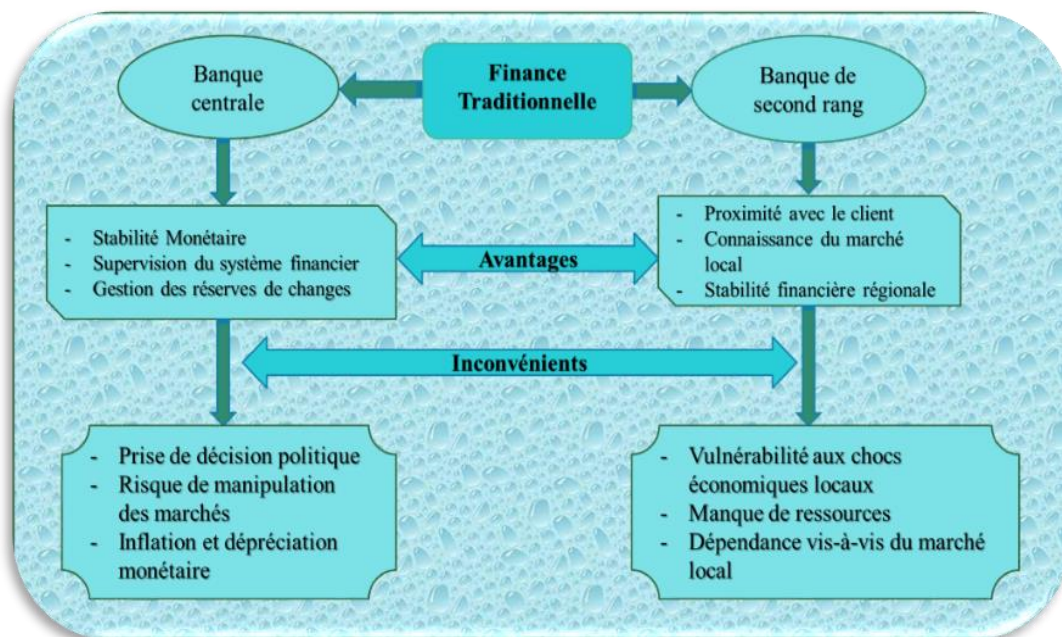


Figure 18 : schéma représentatif des avantages et inconvénients des acteurs du schéma structurel de la TradFi

i) Avantages TradFi

- Les banques centrales apportent plusieurs avantages à la finance traditionnelle, notamment la stabilité monétaire, la supervision du système financier et la gestion des réserves de change. Leur rôle est essentiel pour assurer le bon fonctionnement de l'économie et pour maintenir la confiance des acteurs économiques dans le système financier.
- Les banques de second rang offrent plusieurs avantages dans la finance traditionnelle, notamment la proximité avec les clients, la connaissance approfondie du marché local et la promotion de la stabilité financière régionale. Leur rôle est essentiel pour soutenir les activités économiques locales et répondre aux besoins financiers diversifiés des communautés locales et régionales.

ii) Inconvénients TradFi :

- Bien que les banques centrales jouent un rôle essentiel dans la gestion de la politique monétaire et la stabilisation de l'économie, elles peuvent également présenter des inconvénients tels que la prise de décision politique, le risque de manipulation des marchés, l'inflation et la dépréciation monétaire, ainsi que la

distorsion des signaux de marché. Il est donc essentiel de mettre en œuvre des politiques monétaires responsables et transparentes pour atténuer ces inconvénients et favoriser la stabilité financière et économique à long terme.

- Malgré les avantages qu'offrent les banques de second rang en termes de proximité avec les clients et de connaissance du marché local, elles peuvent également être confrontées à des inconvénients tels que le manque de ressources, la vulnérabilité aux chocs économiques locaux et la dépendance vis-à-vis du marché local. Ces inconvénients soulignent l'importance pour les banques régionales de diversifier leurs activités et de mettre en œuvre des stratégies de gestion des risques efficaces pour assurer leur stabilité et leur viabilité à long terme.

5.2 - Avantages et inconvénients des acteurs du schéma structurel de la DeFi

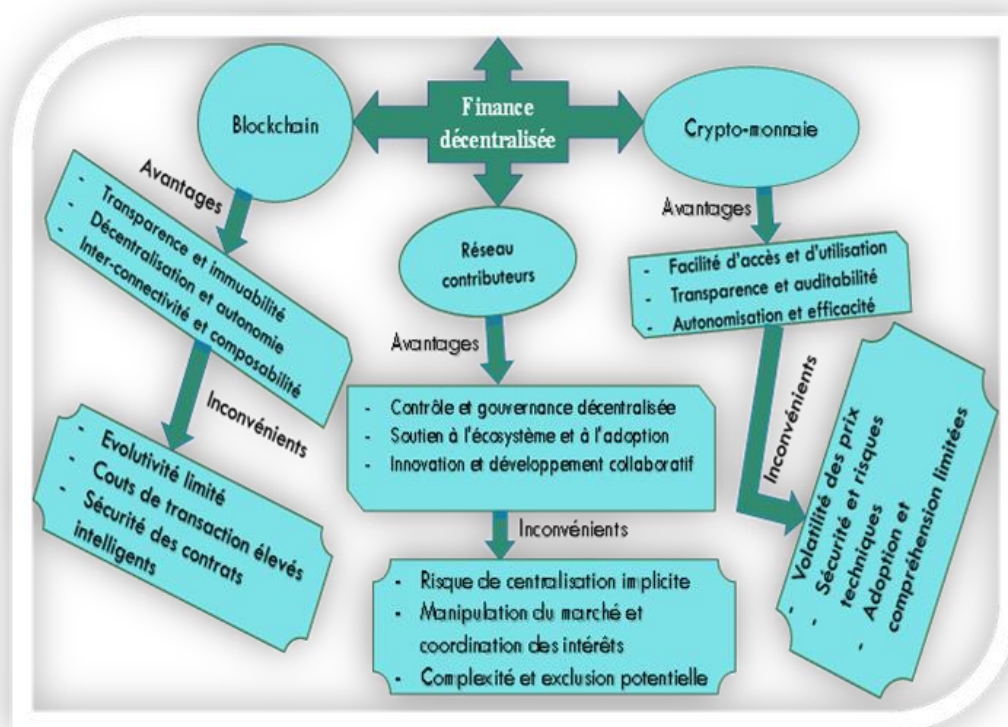


Figure 19 : Schéma représentatif des avantages et inconvénients des acteurs du schéma structurel de la DeFi

i) Avantages DeFi

- La technologie Blockchain apporte une transparence, une décentralisation et une interconnectivité essentielles à la finance décentralisée, offrant ainsi de nouveaux niveaux de confiance, de contrôle et d'innovation pour les utilisateurs.

- Les cryptomonnaies offrent des avantages clés dans la DeFi, notamment une facilité d'accès et d'utilisation, une transparence et une auditabilité renforcées, ainsi qu'une automatisation et une efficacité accrues des transactions. Ces avantages contribuent à rendre la DeFi plus inclusive, transparente et efficiente, ouvrant ainsi de nouvelles opportunités pour l'innovation financière et l'autonomisation des utilisateurs.
- L'intervention des réseaux contributeurs dans la DeFi favorise l'innovation collaborative, renforce la gouvernance décentralisée et soutient la croissance et l'adoption de l'écosystème. Ces avantages contribuent à créer un environnement dynamique, transparent et inclusif où les utilisateurs peuvent participer activement à l'évolution de la finance décentralisée.

ii) Inconvénients DeFi

- Bien que la Blockchain soit un élément essentiel de la DeFi et offre de nombreux avantages, elle présente également des inconvénients tels que des limitations en termes d'évolutivité, des coûts de transaction élevés et des risques de sécurité associés aux contrats intelligents. Ces inconvénients soulignent l'importance de rechercher des solutions d'amélioration de la technologie blockchain et de mettre en œuvre des pratiques de sécurité rigoureuses pour atténuer les risques associés à son utilisation dans la DeFi.
- Malgré les nombreux avantages qu'offrent les cryptomonnaies dans la DeFi, notamment la facilité d'accès et la transparence, elles présentent également des inconvénients tels que la volatilité des prix, les risques de sécurité et les barrières à l'adoption. Ces inconvénients soulignent l'importance de la gestion des risques et de l'éducation des utilisateurs pour assurer une utilisation sûre et efficace de la DeFi.
- Les réseaux contributeurs jouent un rôle important dans la gouvernance et le développement de la DeFi, mais ils présentent également des inconvénients potentiels tels que le risque de centralisation implicite, la manipulation du marché et la complexité accrue pour les utilisateurs. Il est essentiel de surveiller ces défis et de mettre en œuvre des mécanismes de gouvernance robustes pour atténuer leurs effets néfastes sur l'écosystème DeFi.

5.3 - Avantages et inconvénients des acteurs du schéma structurel de la CeFi

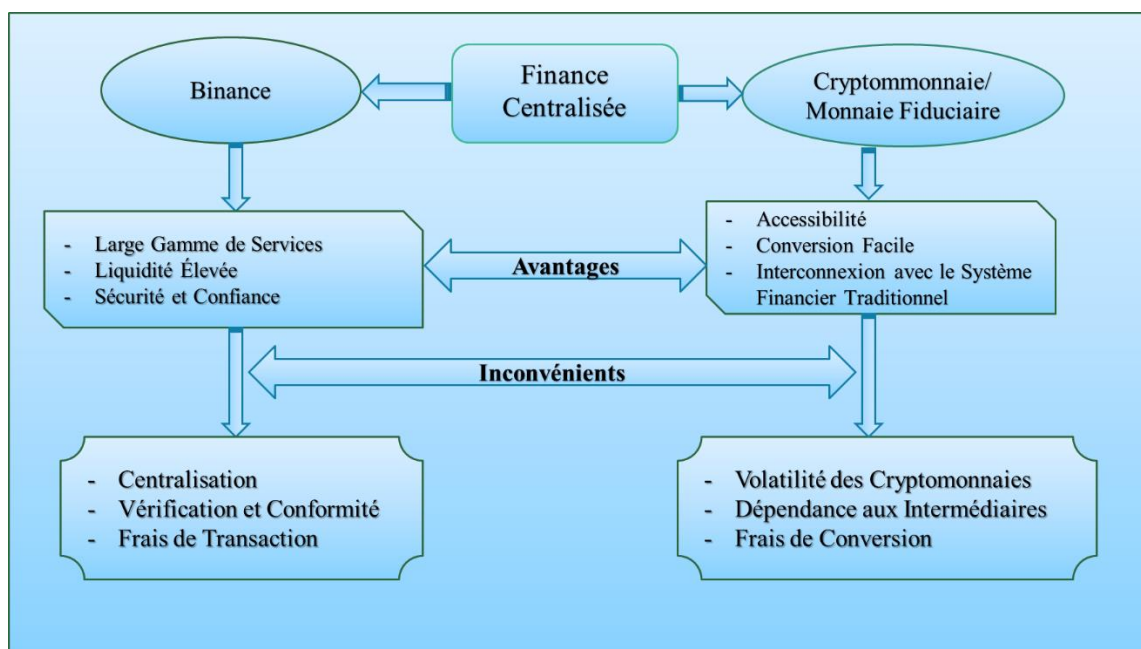


Figure 20 : Avantages et inconvénients des acteurs du schéma structurel de la CeFi

i) Avantages CeFi

- Binance offre une vaste gamme de services financiers, y compris le trading de cryptomonnaies, les prêts, le staking, et plus encore. Cela permet aux utilisateurs d'accéder à divers produits financiers au sein d'une seule plateforme. En plus, Binance est l'une des plus grandes plateformes d'échange de cryptomonnaies au monde, offrant une liquidité élevée. Cela facilite les transactions rapides et à des prix compétitifs, ce qui est crucial pour les traders et les investisseurs. Enfin, Binance met en place des mesures de sécurité robustes, telles que l'authentification à deux facteurs (2FA) et des audits réguliers. La plateforme est largement reconnue et jouit d'une grande confiance parmi les utilisateurs de cryptomonnaies.
- Les cryptomonnaies et les monnaies fiduciaires offrent un grand avantage dans la CeFi en permettant une conversion facile et rapide entre actifs numériques et traditionnels, facilitant ainsi l'accessibilité et la gestion des investissements. Les plateformes CeFi comme Binance permettent aux utilisateurs d'accéder facilement aux cryptomonnaies en utilisant des monnaies fiduciaires. Cela simplifie le processus d'achat et de vente pour les nouveaux venus dans l'espace des cryptomonnaies. De plus, La capacité de convertir rapidement les

cryptomonnaies en monnaies fiduciaires et vice versa offre une grande flexibilité aux utilisateurs. Cela facilite la gestion des investissements et l'adaptation aux fluctuations du marché. Enfin, l'intégration des monnaies fiduciaires permet aux utilisateurs de relier facilement leurs activités de cryptomonnaies avec les systèmes financiers traditionnels, rendant les transactions plus fluides et les transferts de fonds plus simples.

ii) Inconvénients CeFi

- En tant que plateforme centralisée, Binance nécessite que les utilisateurs fassent confiance à une entité unique pour la gestion de leurs fonds. Cela va à l'encontre de la nature décentralisée des cryptomonnaies et pose des risques en cas de failles de sécurité ou de problèmes réglementaires. De plus, Binance impose des procédures KYC (*Know Your Customer*) strictes pour se conformer aux réglementations mondiales. Cela peut être contraignant pour les utilisateurs qui valorisent l'anonymat et la confidentialité dans leurs transactions financières. Enfin, les transactions sur Binance peuvent être associées à des frais, y compris les frais de trading et de retrait. Ces coûts peuvent s'accumuler, particulièrement pour les utilisateurs effectuant des transactions fréquentes ou de grande envergure.
- Les cryptomonnaies et les monnaies fiduciaires présentent des inconvénients dans la CeFi, notamment en raison des frais de conversion et de la volatilité des cryptomonnaies, ainsi que de la dépendance aux intermédiaires centralisés, ce qui peut affecter la sécurité et la rentabilité des transactions. En premier lieu, les cryptomonnaies sont souvent sujettes à une grande volatilité, ce qui peut poser des risques pour les investisseurs. Les fluctuations de prix peuvent entraîner des pertes importantes, surtout pour ceux qui ne sont pas familiers avec les dynamiques du marché des cryptomonnaies. En second lieu, l'utilisation de plateformes CeFi pour la conversion et le trading de cryptomonnaies implique une dépendance aux intermédiaires centralisés. Cela peut entraîner des problèmes de confiance et de sécurité, ainsi que des risques de censures ou de restrictions par les autorités. En dernier lieu, la conversion entre cryptomonnaies et monnaies fiduciaires sur des plateformes CeFi peut engendrer des frais supplémentaires. Ces coûts peuvent réduire les gains des utilisateurs et rendre les transactions moins rentables.

Conclusion

En guise de conclusion, l'équilibre entre la TradFi, la DeFi et la CeFi dépendra de divers facteurs, notamment la confiance des utilisateurs, la réglementation, l'innovation technologique et les préférences individuelles. Les trois systèmes ont leurs mérites et leurs défis, et leur coexistence pourrait conduire à un paysage financier plus diversifié et résilient. Il est donc crucial de comprendre les forces et les faiblesses de chaque approche pour informer les décisions politiques, réglementaires et d'investissement futures. Bien que la DeFi ne soit pas exempte de défis, elle représente une solution plus accessible, transparente et conviviale pour le monde de la finance. Son émergence offre de nouvelles possibilités d'inclusion financière, d'innovation et de démocratisation des services financiers, ouvrant ainsi la voie à un avenir financier plus équitable et résilient.

CHAPITRE 5 : IMPLÉMENTATION D'UN
PROCESSUS DE SMART CONTRACT DANS LE
MARCHÉ DES CÉRÉALES

Introduction

L'avènement des *smart contracts*, ou contrats intelligents a révolutionné la façon dont les transactions sont exécutées dans divers domaines, notamment la finance. Ces contrats autonomes, exécutés sur une blockchain, offrent un niveau de transparence, de sécurité et d'automatisation très élevé. Dans le marché des céréales, où les transactions sont nombreuses et souvent complexes, les Smart Contracts offrent une solution prometteuse pour automatiser et sécuriser les échanges. Ainsi, l'application des Smart Contracts dans le marché des céréales représentera une avancée majeure qui améliorera l'efficacité, la transparence et la sécurité des transactions, tout en réduisant les coûts et les risques associés aux échanges traditionnels. Cependant, pour concrétiser pleinement leur potentiel, des outils et des langages de développement et de modélisation spécifiques sont nécessaires. Dans ce chapitre, nous explorerons l'importance des outils, des langages de développement et des modélisations, ainsi que leur impact sur la création de solutions innovantes et efficaces de smart contracts.

Section 6 : Outils et langages de développement des smart contracts

Le développement d'un smart contract, surtout sur une blockchain, nécessite un ensemble d'outils spécifiques pour garantir la sécurité, la fiabilité et l'efficacité du code. Ci-dessous, nous allons examiner les outils essentiels pour le développement de smart contracts.

6.1 - Outils de développement des smart contracts

Dans cette section, nous examinerons en détail les outils indispensables pour le développement des Smart Contracts. Ces outils sont cruciaux pour la création, le déploiement et la gestion efficace de ces contrats autonomes au sein des environnements blockchain.

a) Les plateformes Blockchain

Les plateformes Blockchain d'exécution des contrats intelligents offrent des environnements et des outils pour créer, déployer et gérer des contrats autonomes sur la blockchain. Ces plateformes, telles qu'Ethereum, NEO, EOS, Cardano, Tron etc..., fournissent des langages de programmation spécifiques pour écrire des contrats intelligents. Elles offrent également des IDE (Environnements de Développement Intégré) dédiés ou des extensions pour faciliter le processus de développement. Les développeurs peuvent tester leurs contrats intelligents sur des réseaux de test avant de les déployer sur des réseaux de production. En outre, ces plateformes fournissent souvent des Frameworks et des bibliothèques pour simplifier le développement et améliorer la sécurité des contrats intelligents.

b) Environnements de développement intégrés (IDE)

Les IDE sont des outils essentiels qui regroupent tous les éléments nécessaires à la création, au test, et au déploiement de logiciels, offrant aux développeurs une plateforme unifiée pour améliorer l'efficacité et la qualité de leurs projets. Parmi les IDE des smart contracts on peut citer :

- Remix : est un IDE en ligne fourni par Ethereum lui-même, idéal pour le développement, le déploiement et le test de smart contracts. Remix IDE est un outil sans configuration avec une interface graphique pour développer des contrats intelligents.
- Visual Studio Code avec des extensions Solidity : VS Code est un environnement de développement populaire qui peut être étendu avec des

plug-ins pour le langage Solidity, offrant une expérience de développement solide.

- Truffle Suite : est un cadre de développement complet et un ensemble d'outils permettant de créer des applications décentralisées (DApps) sur la blockchain Ethereum. Il offre une gamme d'outils puissants qui rationalisent l'ensemble du processus de développement, de la création et des tests de contrats intelligents au déploiement et à la gestion des actifs (Team, 2023). Truffle suite est composé d'outils comprenant Truffle Framework, Ganache, et Drizzle. Truffle Framework simplifie le développement, le test et le déploiement de smart contracts Ethereum. Il est le composant principal de Truffle Suite, il fournit un environnement convivial permettant aux développeurs d'écrire, de compiler et de déployer efficacement des contrats intelligents.

Ganache fournit un environnement de blockchain Ethereum local pour le développement et le test.

Drizzle est une bibliothèque React qui s'intègre parfaitement à Truffle Suite pour le développement d'interfaces utilisateur décentralisées (DApps) qui interagissent avec des smart contracts.

Il y'a également Hardhat qui est un Framework similaire à Truffle.

- Infura : est un service basé sur le Cloud qui donne accès à des réseaux blockchain publics, tels qu'Ethereum et IPFS. On peut utiliser Infura pour déployer et interagir avec nos contrats intelligents sans l'exécuter sur notre propre nœud.
- Embark Framework : Similaire à Truffle, Embark Framework facilite le développement, le test et le déploiement de smart contracts Ethereum et DApps. (Blockchain - Embark Framework - MLG Blockchain, s. d.) en effet, Embark simplifie le déploiement automatisé de contrats intelligents sur la blockchain Ethereum Virtual Machine (EVM) et leur intégration transparente avec le code JavaScript traditionnel. Il facilite la gestion des contrats en assurant la migration, le redéploiement automatique en cas de besoin, et en surveillant les modifications. En utilisant JavaScript, il prend en charge le développement piloté par les tests de contrats et offre aux développeurs la possibilité de gérer aisément leurs contrats sur diverses blockchains, telles que les tests nets, les réseaux privés et le réseau principal.

- ⇒ Tenderly et OpenZeppelin Defender : sont deux des outils les plus puissants pour le développement de contrats intelligents. Tenderly est une plate-forme qui vous aide à surveiller, déboguer et améliorer vos contrats intelligents. Il offre des fonctionnalités telles que des alertes en temps réel, des visualisations, des simulations et des vérifications. OpenZeppelin Defender est une plate-forme qui vous aide à sécuriser, gérer et mettre à niveau vos contrats intelligents. Il offre des fonctionnalités telles que l'administration, le relais, la tâche automatique et le conseiller. Tenderly et OpenZeppelin Defender peuvent vous aider à réduire les risques, les erreurs et les coûts dans le développement de votre contrat intelligent (SHARMA, s. d.).
- ⇒ Web3.js et Ethers.js : Ce sont des bibliothèques JavaScript populaires pour interagir avec des nœuds Ethereum et des smart contracts depuis des applications décentralisées. Elles facilitent la communication entre votre application et la blockchain Ethereum.
- ⇒ EtherScan : Une plateforme en ligne qui permet d'explorer et de vérifier les transactions, les adresses et les contrats sur la blockchain Ethereum (etherscan.io, s. d.). C'est un outil utile pour vérifier le déploiement de smart contracts et pour obtenir des informations sur les transactions
- ⇒ Diligence Fuzzing : le Fuzzer est très puissant pour trouver les bugs et les vulnérabilités des smart contracts avant qu'ils ne soient exploités par de mauvais acteurs sur le réseau principal (Fuzzing, s. d.).

6.2 - Etude comparative et choix d'outils et du langage

a) Etude comparative

L'étude comparative et le choix de l'outil et du langage pour le développement d'un smart contract sont cruciaux pour garantir la sécurité et la fiabilité de l'application blockchain. Chaque langage de programmation offre des caractéristiques uniques qui peuvent affecter la sécurité, la performance et la compatibilité du smart contract avec la blockchain cible ainsi que l'outil de développement. Une sélection minutieuse du langage peut simplifier le processus de développement, réduire les risques d'erreurs et accroître l'efficacité du code. Le choix de l'outil pour le développement de contrats intelligents peut avoir un impact significatif sur l'efficacité, la qualité du code, le soutien de la communauté, la flexibilité et les coûts du projet.

b) Plateformes de développement

Nous explorons les différentes plateformes disponibles pour l'exécution des Smart Contracts, les environnements qui les soutiennent ainsi que les langages de programmation utilisés pour les développer. Le tableau ci-dessous représente le top dix des plateformes les plus influentes dans le domaine des smart contract.

Tableau 11 : Top 10 des plateformes d'exécution des smart contracts

Plateformes	Langages de programmation	Environnements d'exécution
Ethereum	Solidity	EVM (Ethereum)
EOS	C/C++ (compile en ÉTAIT M Solidité)	WVM (machine virtuelle d'assemblage Web)
TRON	SolidityTRON	Machine Virtuelle TRON (TVM)
Cardano	Plutus	IELEVM/KEVM
Vagues	Monter	JRE
Binance Smart Chain	Solidity	Binance Chain Virtual Machine (BCVM)
NEO	NeoContract (C#)	NeoVM
Hyperledger Fabric	Go	GoVM
Avalanche	Solidity	AVM
Stellar	Stellar Smart Contract Language (SSCL)	Stellar Consensus Protocol (SCP)

Source : (Ndiaye & Konate, 2022)

c) Environnement de développement intégrés (IDE)

Le tableau comparatif ci-dessous présente une analyse des avantages et des inconvénients des principaux outils de développement de smart contracts, afin d'aider à choisir celui qui correspond le mieux aux besoins spécifiques de votre projet.

Tableau 12 : Etude des avantages et des inconvénients des principaux outils de développement des smart contracts

Eléments de comparaison	Avantages	Inconvénients
Remix	Interface Web conviviale, prise en charge des langages Solidity, débogage intégré, déploiement sur la blockchain de test Ethereum.	Peut être limité pour des projets plus complexes, nécessite une connexion Internet.
Visual studio Code	Flexibilité de l'environnement de développement, prise en charge de la syntaxe Solidity, extensions pour le débogage et le déploiement	Peut nécessiter une configuration initiale, certains outils peuvent ne pas être aussi intégrés que dans d'autres IDE dédiés
Truffle suite	Ensemble complet d'outils pour le développement Ethereum, y compris Truffle Framework, Ganache et Drizzle, débogage avancé, migration et tests automatisés	Peut-être un peu complexe pour les débutants, nécessite une installation et une configuration
NeoCompiler Eco	Environnement de développement spécifique à NEO, prise en charge de NeoContract (C#), déploiement et test intégrés.	Moins de ressources et de support par rapport aux IDE Ethereum plus établis, moins de flexibilité en termes de langages de programmation.
Rust	Environnement de développement pour les blockchains Substrate, langage Rust sécurisé et performant, documentation complète.	Peut-être plus complexe pour les développeurs non familiers avec Rust, moins de ressources et d'outils disponibles par rapport à Ethereum.

Source : Conception de l'auteur

6.3 - Choix d'outils et du langage

a) Choix de l'environnement de développement

Nous choisissons Remix comme IDE par ce qu'il offre une expérience de développement tout-en-un et est spécialement conçue pour les contrats intelligents Ethereum, ce qui en fait un environnement parfait pour développer notre smart contract. Son interface conviviale et ses fonctionnalités intégrées telles que le compilateur Solidity, le débogueur et le déploiement simplifié facilitent le processus de développement. Remix fournit également un environnement de test intégré et une simulation de transactions, ce qui permet aux développeurs de valider rapidement leurs contrats intelligents. De plus, Remix est largement utilisé dans la communauté Ethereum, offrant ainsi un accès à une documentation complète et à une communauté active de développeurs. L'intégration transparente avec Ethereum permet aux développeurs d'interagir facilement avec la blockchain et de déployer leurs contrats intelligents en toute confiance.

b) Choix de la plateforme et du langage

On peut dire qu'Ethereum est largement adopté dans l'industrie de la blockchain et de la cryptomonnaie, ce qui signifie qu'il dispose d'une vaste communauté de développeurs et d'utilisateurs, ainsi que d'une infrastructure bien établie, d'où notre choix comme plateforme

de développement. Son environnement d'exécution de *Smart Contracts* EVM est robuste et largement utilisé, offrant une compatibilité avec un large éventail de langages de programmation et une grande flexibilité pour la création de contrats intelligents complexes. *Solidity* est un langage de programmation spécialement conçu pour Ethereum, ce qui en fait un choix populaire parmi les développeurs pour écrire des Smart Contracts. Il dispose également d'une grande quantité de ressources et de bibliothèques disponibles pour faciliter le développement.

En choisissant Ethereum comme plateforme de développement et l'Ethereum Virtual Machine (EVM) comme environnement, l'utilisation de *Solidity* comme langage de programmation est une décision naturelle, étant donné qu'il est le langage standard pour créer des smart contracts sur Ethereum. *Solidity* offre une syntaxe familière aux développeurs et une intégration fluide avec les fonctionnalités de la blockchain Ethereum, permettant ainsi de créer des smart contracts efficaces et sécurisés. Grâce à ce choix, nous bénéficions de l'écosystème robuste d'Ethereum et de sa large adoption, offrant des opportunités de déploiement et d'interopérabilité étendues dans le marché des céréales au Sénégal.

Ethereum est une plateforme de blockchain open source qui permet aux développeurs de créer et de déployer des applications décentralisées (DApps) et des contrats intelligents. Les contrats intelligents sont des programmes informatiques auto-exécutables qui fonctionnent sur la blockchain Ethereum. Ce dernier fournit une infrastructure décentralisée et sécurisée qui permet l'exécution de contrats intelligents. Contrairement à Bitcoin, qui se concentre principalement sur les transactions financières, Ethereum est conçu pour prendre en charge un large éventail d'applications décentralisées en plus des transferts de valeur.

Les contrats intelligents sur Ethereum sont généralement écrits en langages de programmation spécifiques, tels que *Solidity* et *Vyper*. Ces langages permettent aux développeurs de définir la logique du contrat intelligent, y compris ses fonctionnalités, ses règles et ses conditions d'exécution.

- Les comptes, messages et transactions : Sur Ethereum, les comptes représentent les utilisateurs et les contrats intelligents, permettant l'interaction avec la blockchain. Les messages sont des instructions envoyées entre ces comptes, déclenchant des transactions pour exécuter des opérations comme le transfert de jetons ou l'exécution de code de contrat.

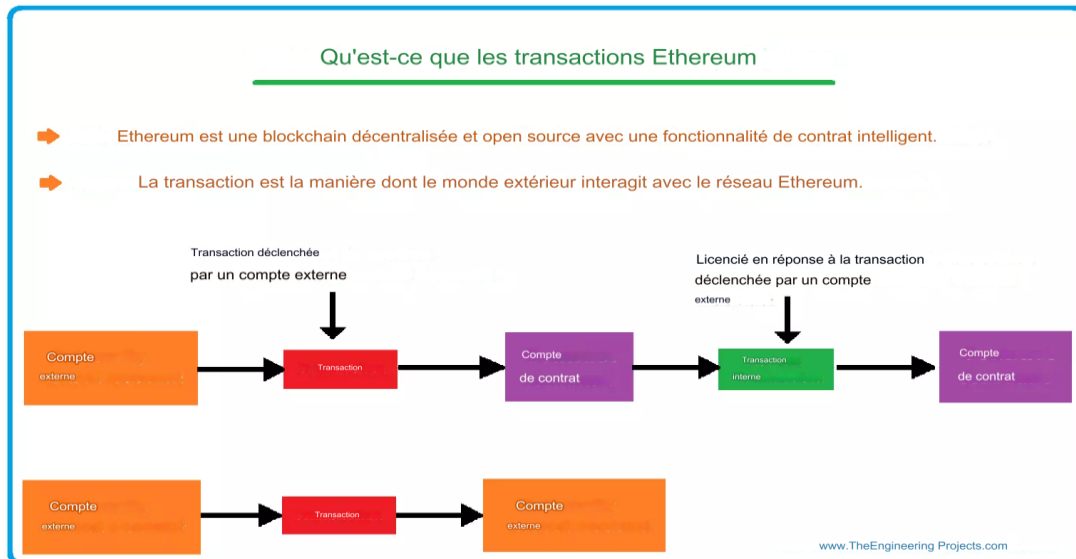


Figure 21 : Image illustrative d'un processus de transaction Ethereum

La première schématisation représente une transaction initiée par un compte externe envers un compte interne, où un message est créé, transmis à la blockchain pour vérification et exécution, entraînant une modification de l'état du compte interne ou l'exécution d'une fonction de smart contract. En revanche, dans la deuxième schématisation, une transaction entre deux comptes externes est déclenchée par l'émission d'un message contenant les détails de l'interaction, qui est ensuite validé, inclus dans un bloc et exécuté sur le compte destinataire, entraînant une mise à jour de son solde ou de son état.

Une transaction Ethereum est une opération qui peut inclure des instructions destinées à être exécutées par un smart contract. Lorsqu'une transaction est envoyée à un smart contract, celui-ci vérifie si elle est valide et exécute les instructions incluses dans la transaction. Ces instructions peuvent déclencher l'exécution de fonctions spécifiques à l'intérieur du smart contract, ce qui peut entraîner des changements d'état sur la blockchain Ethereum ou des transferts de valeur entre les comptes. Les transactions sur Ethereum sont composées de plusieurs éléments essentiels qui définissent leur fonctionnement et leur exécution sur la blockchain. Voici les principaux composants d'une transaction Ethereum :

- ➔ Émetteur (*Sender*) : Il s'agit du compte Ethereum qui initie la transaction. L'émetteur signe la transaction avec sa clé privée pour prouver son authenticité.
- ➔ Le nonce : nombre de transactions envoyées par l'expéditeur.
- ➔ Destinataire (*Recipient*) : Il s'agit du compte Ethereum qui reçoit la transaction. Le destinataire peut être un autre compte Ethereum ordinaire ou un contrat intelligent.

- Montant (*Value*) : C'est la quantité d'Ether (cryptomonnaie native d'Ethereum) transférée dans la transaction. Si la transaction ne concerne pas un transfert de valeur, ce champ est égal à zéro.
- Prix gaz ou (*Gas Price*) : spécifie le coût en Ether nécessaire pour exécuter la transaction. Il est exprimé en « gwei », une sous-unité de l'ETH.
- Limite de gaz ou (le *gas limit*) : détermine le nombre maximal de gas que l'émetteur est prêt à payer pour exécuter la transaction.
- Données (*Data*) : Ce champ contient des données supplémentaires spécifiques à la transaction, généralement utilisées pour invoquer des fonctions dans un contrat intelligent. Les données sont encodées en hexadécimal.
- Signature : La transaction est signée cryptographiquement par l'émetteur à l'aide de sa clé privée. La signature garantit l'authenticité de la transaction et empêche toute altération des données pendant son transfert sur le réseau.
- V, R, S : ces trois valeurs composent les champs des signatures. Ils représentent des valeurs de signature numérique et certaines informations qui peuvent être utilisées pour récupérer la clé publique.
- *Init* : la zone n'est utilisée que dans les transactions destinées à créer des contrats. Ceci représente un tableau d'octets de longueur illimitée qui spécifie le code EVM à utiliser dans le processus d'initialisation du compte. Ce code est exécuté une seule fois lors de la création du contrat, puis est détruit immédiatement. Lorsque cette initialisation, appelée "*init*", est exécutée pour la première fois, elle renvoie le corps principal du code de compte, qui demeure associé de manière permanente au compte du contrat.

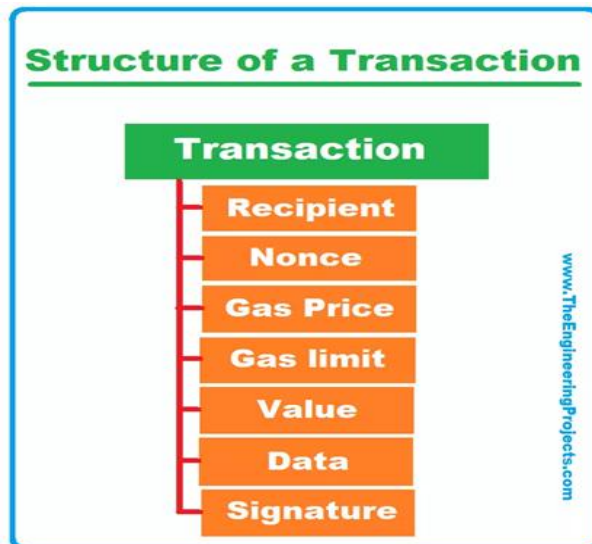


Figure 22 : Structure d'une transaction

Les messages Ethereum sont des communications envoyées entre deux contrats intelligents ou entre un contrat intelligent et un compte Ethereum. Contrairement aux transactions, les messages ne transfèrent pas de valeur (Ether). Ils sont utilisés pour invoquer des fonctions spécifiques à l'intérieur des contrats intelligents. Les messages sont initiés à partir d'une transaction Ethereum, où la transaction contient les instructions nécessaires pour exécuter le message. Ces instructions sont spécifiées dans le champ de données de la transaction et peuvent inclure des données et des paramètres à passer au smart contract cible.

Section 7 : Analyse et conception du système

L'analyse et la conception des systèmes de smart contracts représentent une étape cruciale dans le développement d'applications blockchain sécurisées et fonctionnelles. Cette phase implique d'identifier les intervenants du système et leurs fonctions respectives. De plus, il est nécessaire de concevoir des modèles de contrats décrivant le fonctionnement du système afin de simplifier le processus de développement de l'application.

7.1 - Identifications des acteurs et leurs rôles

L'identification des acteurs dans le développement des contrats intelligents pour le marché des céréales au Sénégal est cruciale pour définir clairement les rôles de chacun et leurs interactions vis-à-vis des contrats. Cette étape permet de clarifier les responsabilités de chaque partie impliquée dans le processus de développement et d'exécution des contrats. Elle favorise la transparence en permettant aux participants de comprendre leur implication dans le système et les attentes qui en découlent. De plus, cette identification facilite la conception précise des contrats intelligents, adaptés aux besoins spécifiques des acteurs du marché des céréales. Trois acteurs sont dénombrés dans le processus :

- Les comptes détenus en externe ou *Externally Owned Account (EOA)* : l'entreprise de gestion du marché des céréales au Sénégal est considérée comme un compte détenu en externe. Les EOA sont le type de compte blockchain le plus courant avec un contrôle direct. Ces comptes sont créés à l'aide de clés privées. La clé associée vous donne une signature unique et un accès à la blockchain.
- les comptes des contrats (« Contract Account » ou CA) : Chaque contrat possède un compte identifiable par une adresse. Lorsqu'un contrat reçoit un message, son code s'exécute, lui permettant d'accéder et de modifier sa mémoire interne, ainsi que d'envoyer des messages à d'autres contrats ou de créer de nouveaux contrats en réponse.
- Les mineurs : sont des participants du réseau blockchain qui utilisent leur puissance de calcul pour valider et sécuriser les transactions. Ils sont responsables de regrouper les transactions en blocs, de les ajouter à la blockchain et de résoudre des équations cryptographiques complexes pour ce faire. En récompense de leur travail, les mineurs reçoivent généralement des récompenses en cryptomonnaie, telles que des Bitcoins dans le cas de Bitcoin ou des ethers dans le cas d'Ethereum, ainsi que des frais de transaction payés par les utilisateurs.

a) Diagramme structurel des smart contract

Un contrat intelligent est un ensemble de règles programmées qui spécifient les conditions déclenchant des actions automatisées. Ces conditions peuvent être basées sur des événements spécifiques, des données de capteurs ou des interactions avec d'autres contrats. Une fois les conditions remplies, le contrat intelligent exécute les actions prédéfinies de manière transparente et immuable, offrant ainsi un moyen fiable d'automatiser les processus. Un contrat intelligent contient les conditions de déclenchement des réponses et des actions qui doivent être effectués après le déclenchement, comme indiqué dans la figure suivante.

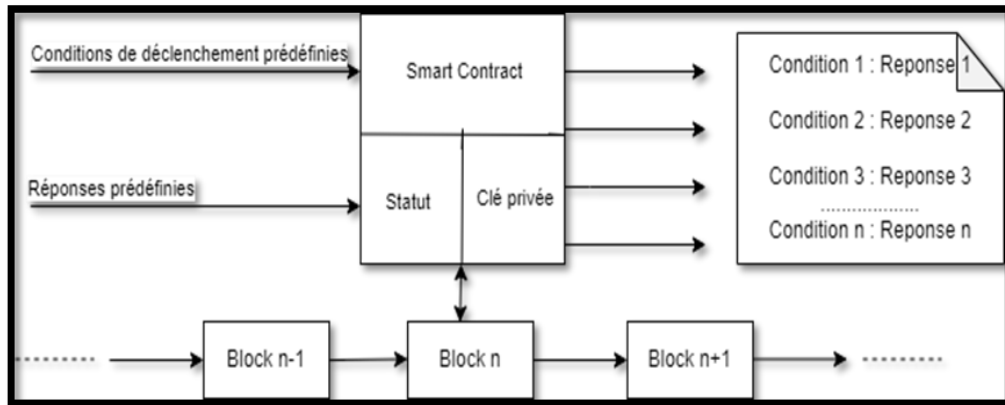


Figure 23 : Structurel simple d'un smart contracts

b) Diagramme de cas d'utilisation

Les diagrammes de cas d'utilisation sont des outils de modélisation utilisés dans l'ingénierie logicielle pour décrire les interactions entre un système et ses acteurs. Ils illustrent les différents scénarios d'utilisation d'un système, mettant en évidence les actions effectuées par les acteurs pour atteindre leurs objectifs. Ci-dessous nous avons un exemple de diagramme de cas d'utilisation.

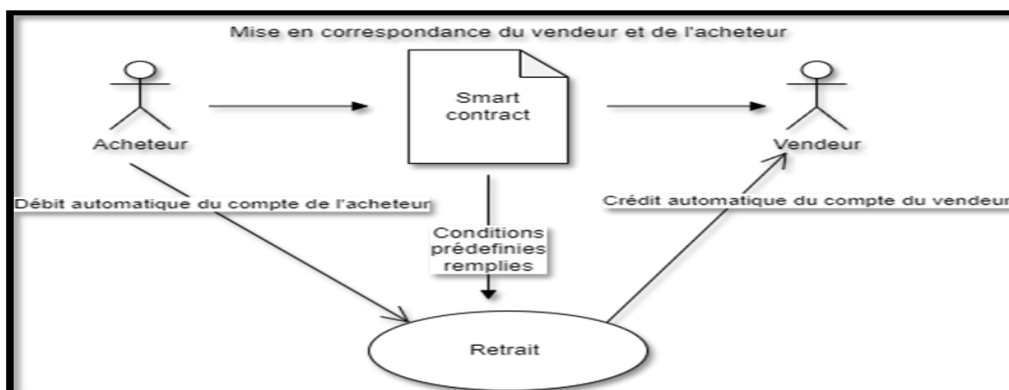


Figure 24 : Diagramme de cas d'utilisation des smart contracts

- ✓ Lorsqu'un *smart contract* est déployé sur la blockchain, il reste inactif jusqu'à ce que ses conditions prédéfinies d'auto-déclenchement soient remplies. Une fois que ces

conditions sont satisfaites, telles que la réception d'un paiement ou l'expiration d'un délai, le contrat intelligent est activé. Dans notre cas d'une transaction entre acheteur et vendeur, une fois que les conditions convenues sont remplies, le *smart contrat* effectue automatiquement un mouvement de retrait du portefeuille cryptographique de l'acheteur vers celui du vendeur. Cette transaction est ensuite exécutée sur la blockchain, ce qui signifie qu'elle est enregistrée de manière permanente et immuable dans la chaîne de blocs, assurant ainsi sa transparence et sa sécurité. La transaction pourra être vérifiée par n'importe quel utilisateur et à tout moment.

c) Diagramme de classe

Un diagramme de classe est une représentation statique des classes d'un système logiciel ainsi que de leurs relations. Il montre les classes, les attributs et les méthodes, ainsi que les associations entre les différentes classes.

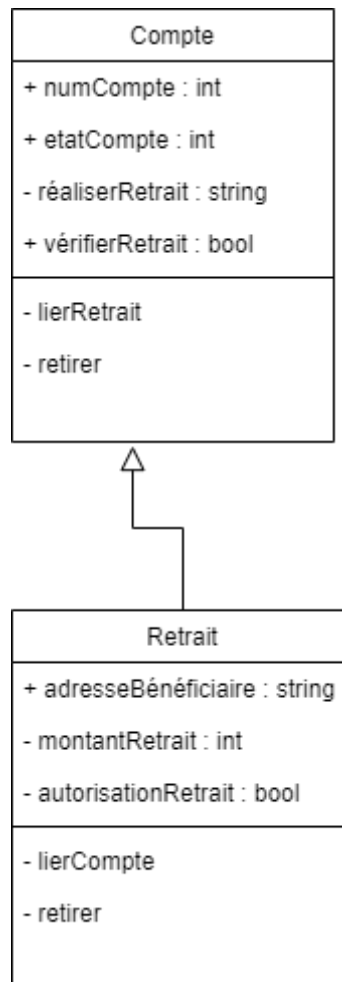


Figure 25 : Diagramme de classe d'un smart contract

- ✓ Le diagramme de classe susmentionné montre les différents attributs que composera notre compte de retrait. Le *smart contract* aura des informations telles que le numéro de compte de l'acheteur, le montant à débiter de ce compte et l'adresse du destinataire

des fonds. Lorsque les conditions prédéfinies sont remplies, le *smart contract* exécutera automatiquement une fonction qui débitera le compte de l'acheteur du montant spécifié. Cette action sera réalisée en utilisant les informations sur le compte de l'acheteur et en déduisant le montant approprié. Une fois le montant débité avec succès, le *smart contract* transférera ces fonds à l'adresse du destinataire spécifiée.

d) Diagramme de séquence

Un diagramme de séquence est une représentation visuelle des interactions entre les différents acteurs ou composants d'un système, montrant la séquence chronologique des messages échangés. Il est largement utilisé pour modéliser le flux de contrôle lors de l'exécution des scénarios d'utilisation dans le développement logiciel.

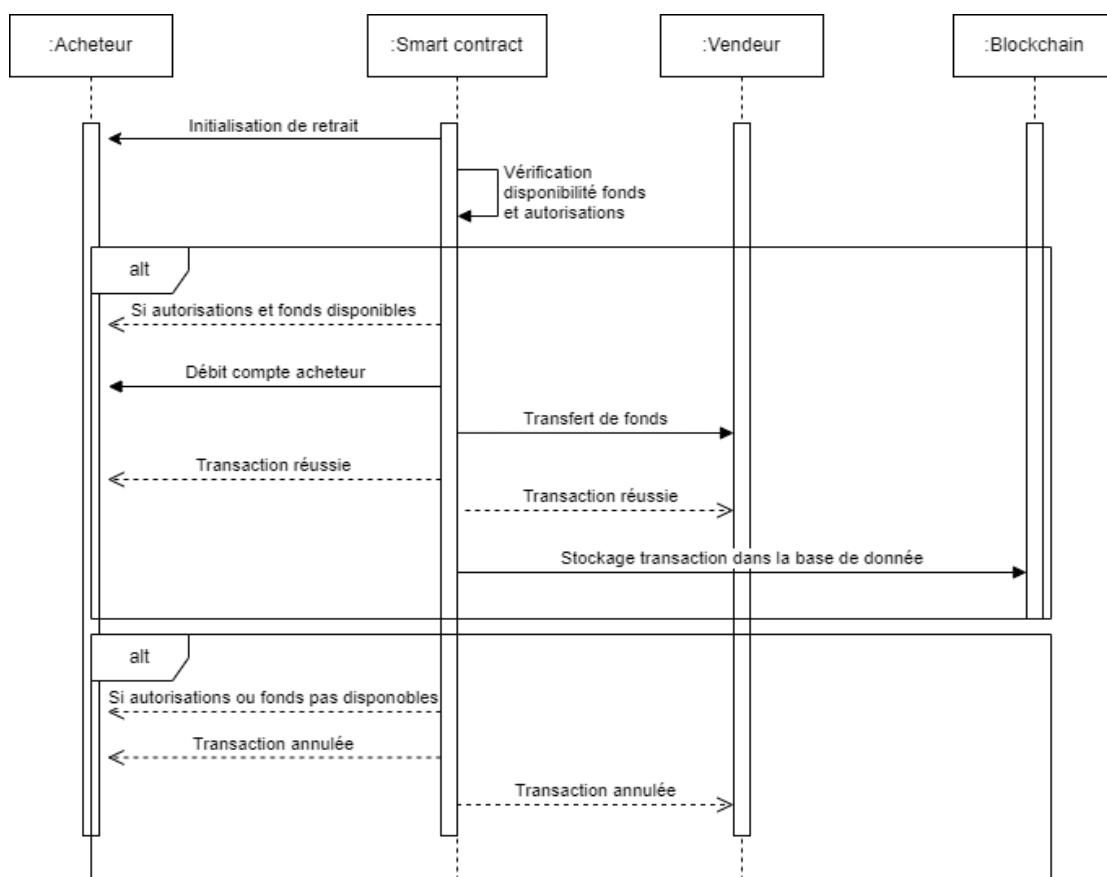


Figure 26 : Diagramme de séquence

- ✓ Explication du diagramme de séquence : Après l'auto-déclenchement du contrat, le smart contract reçoit une demande de paiement, généralement initiée par une action ou un événement prédéfini. Le smart contract commence par vérifier deux conditions clés : la disponibilité des fonds dans le compte de l'acheteur et les autorisations d'accès préalablement définies. Ces vérifications garantissent l'intégrité de la transaction. Si les fonds sont disponibles et que les autorisations sont accordées, le

smart contract procède automatiquement au débit du compte de l'acheteur pour le montant convenu. Après le débit réussi du compte de l'acheteur, le smart contract transfère automatiquement les fonds vers le compte du vendeur, finalisant ainsi la transaction. Une fois la transaction réussie, les acteurs impliqués, à savoir l'acheteur et le vendeur, reçoivent chacun un message de confirmation indiquant le succès de la transaction. Enfin, la transaction est enregistrée de manière immuable dans la blockchain, garantissant sa transparence et sa sécurité. Dans le cas où les fonds ne sont pas disponibles ou les autorisations requises ne sont pas satisfaites, le smart contract annule la transaction et informe les parties prenantes de l'échec de la transaction.

7.2 - Réalisation d'un système de smart contract pour le marché céréalier du Sénégal.

La réalisation d'un système de *smart contract* pour le marché des céréales au Sénégal représente une avancée significative dans la modernisation et la sécurisation des transactions agricoles. En combinant la transparence de la blockchain avec l'efficacité des contrats intelligents, ce système offre une solution innovante pour faciliter les échanges de céréales entre les agriculteurs, les acheteurs et les distributeurs. Grâce à cette technologie, les participants bénéficieront d'une traçabilité accrue, de conditions commerciales claires et d'une réduction des risques liés aux transactions.

a) Présentation de l'interface de notre application

L'image ci-dessous illustre l'interface de notre environnement de développement Remix, mettant en avant ses diverses fonctionnalités pour la création, le déploiement et la gestion de contrats intelligents. À travers cette interface conviviale, les utilisateurs peuvent accéder à un large éventail d'outils et de fonctionnalités essentiels à leur processus de développement de contrats intelligents.

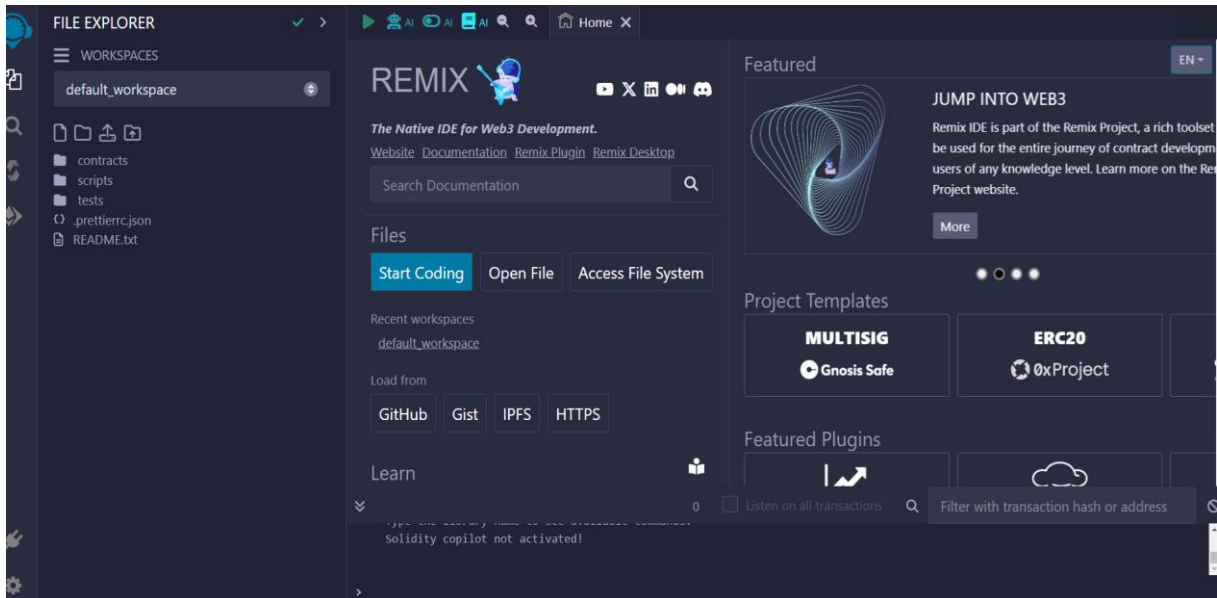


Figure 27 : Interface Remix IDE

b) Fichier céréale

Nous avons créé ci-dessous notre fichier céréale dans le dossier contracts avec une extension .sol, spécifiant ainsi la version du langage Solidity que nous allons utiliser, qui est la version 0.8.25. Le mot-clé pragma est utilisé pour activer certaines fonctionnalités du compilateur ou des vérifications.

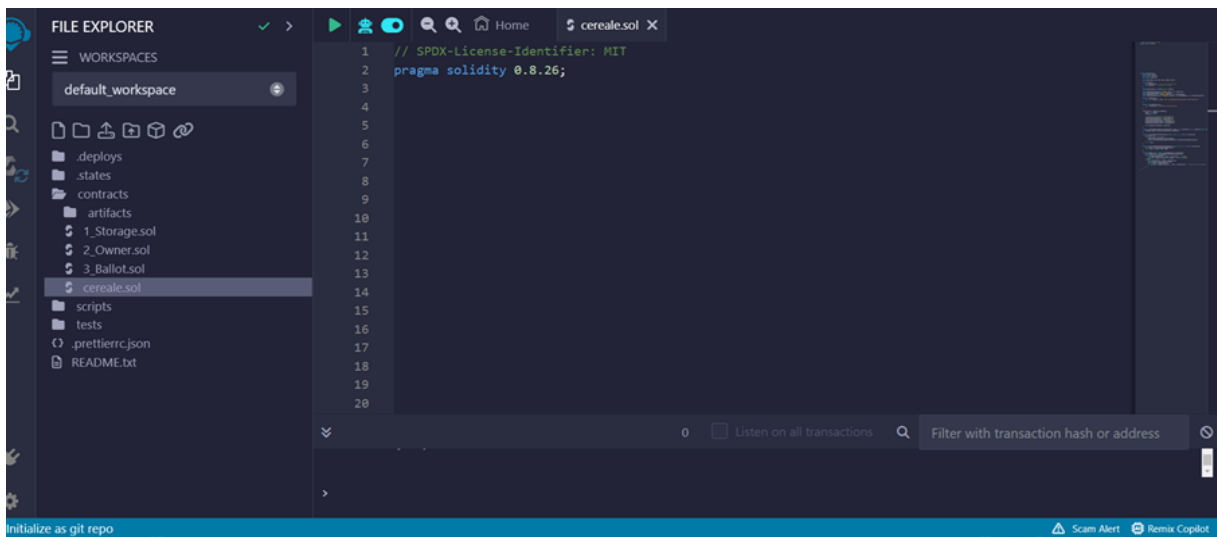


Figure 28 : Création fichier de développement sur Remix

c) Contrat Vente Céréales

Ci-dessous, nous avons notre contrat **VenteCereales** déployé par le propriétaire du contrat sur la machine virtuelle d'Ethereum.

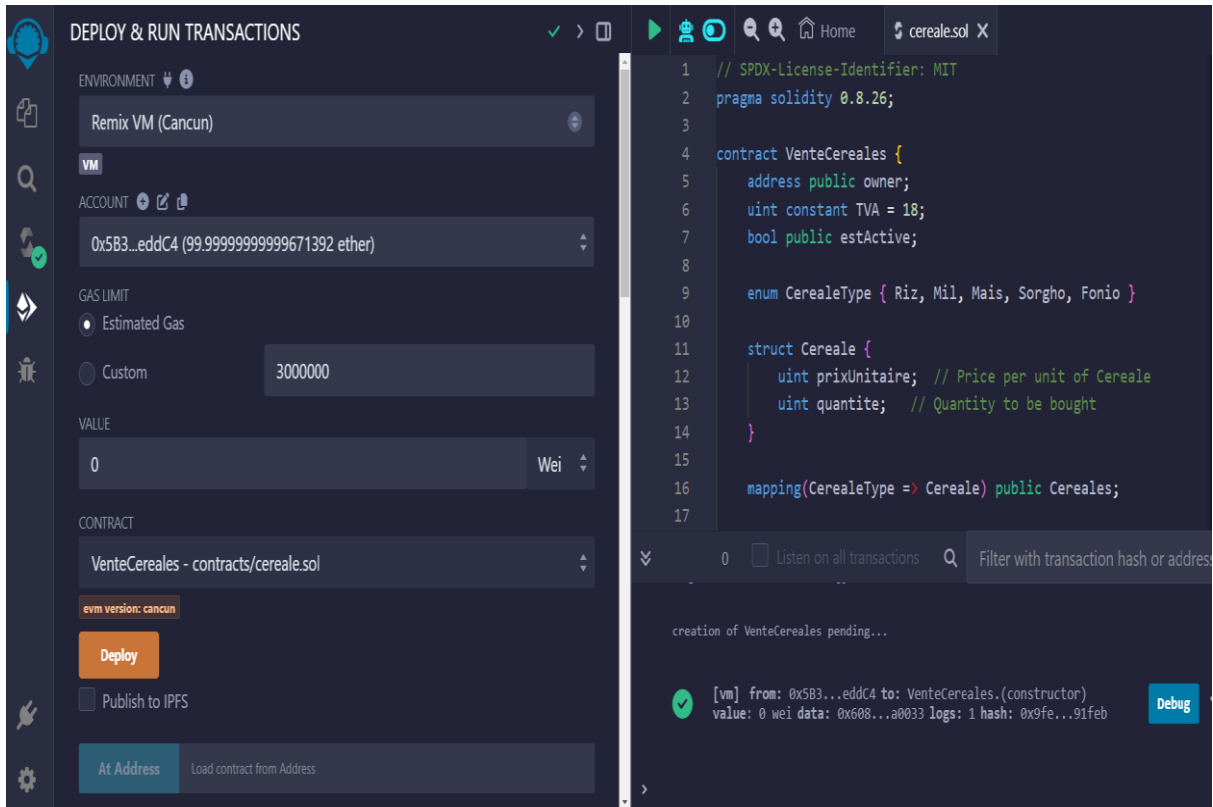


Figure 29 : Déploiement du smart contract

d) Les différentes fonctionnalités

L'interface ci-dessous nous présente les différentes fonctionnalités de notre application.

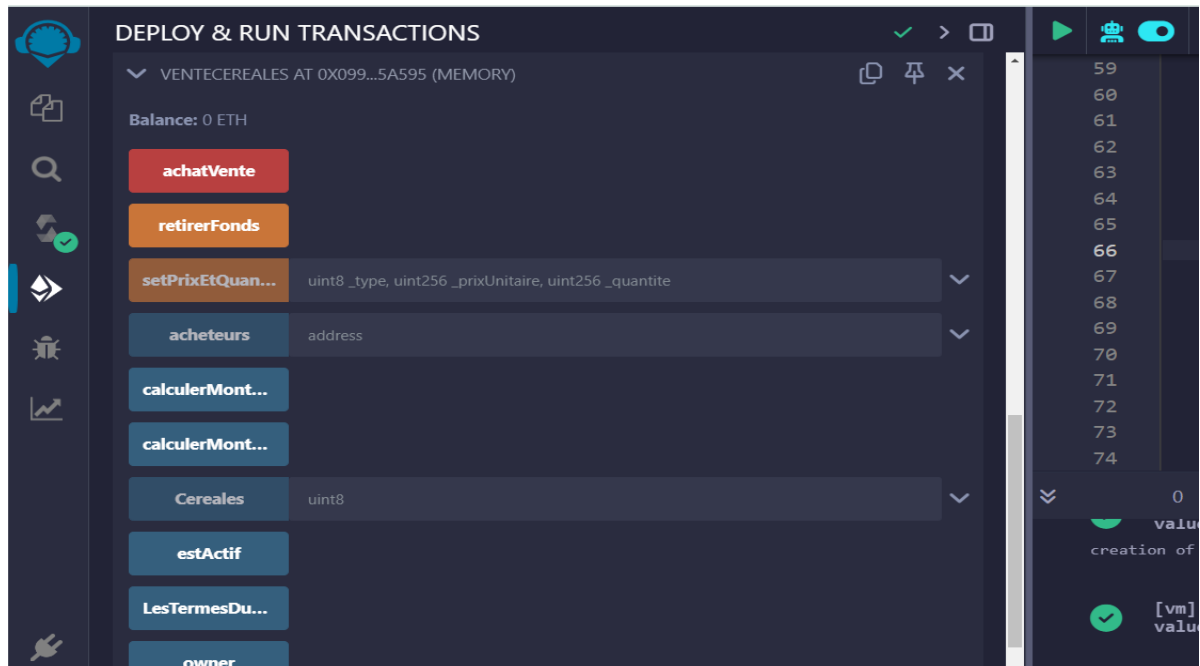


Figure 30 : Fenêtre présentant les différentes fonctionnalités du smart contract

e) La spécificité des fonctionnalités

La fonctionnalité `setPrixEtQuantiteCereales` permet au propriétaire de définir le prix unitaire et la quantité pour un type de céréale donné. Ensuite, on clique sur "transact" pour valider les données. Il est possible d'ajouter autant de commandes que souhaité. Après chaque validation par "transact", on peut ajouter une nouvelle commande et cliquer de nouveau sur "transact". Le bouton Acheteur permet de déterminer l'adresse de l'acheteur. Une fois l'achat terminé, le smart contract débite automatiquement le portefeuille cryptographique de l'acheteur. La fonctionnalité `calculerMontantTotalHorsTaxes` calcule le montant total sans TVA pour toutes les céréales achetées. Ensuite, en cliquant sur `calculerMontantToutesTaxesComprises`, le montant total à payer avec une TVA de 18% est calculé. La fonctionnalité `cereales` permet de visualiser, avec un chiffre allant de 0 à 4, le prix unitaire et la quantité des céréales achetées. La fonction `estActif` est une restriction pour vérifier si le contrat est actif avant d'exécuter des fonctions. Enfin, La fonctionnalité `LesTermesDuContrat` permet de visualiser les termes du contrat. Cependant, comme le contrat est déployé sur la blockchain, les termes sont hachés. Seuls l'acheteur et le vendeur auront accès aux termes réels. Le bouton Owner affiche l'adresse du propriétaire du contrat. La fonctionnalité `achatVente` permet au vendeur de confirmer l'achat et de débiter le compte de l'acheteur. Elle calcule le montant total à payer, incluant les taxes, en utilisant la fonction. Le bouton `retireFonds` permet au vendeur de retirer les fonds accumulés dans le smart contract. Elle vérifie que l'appelant est bien le propriétaire du contrat en utilisant le modificateur `onlyOwner`. Elle transfère ensuite le montant total disponible sur le compte du propriétaire.

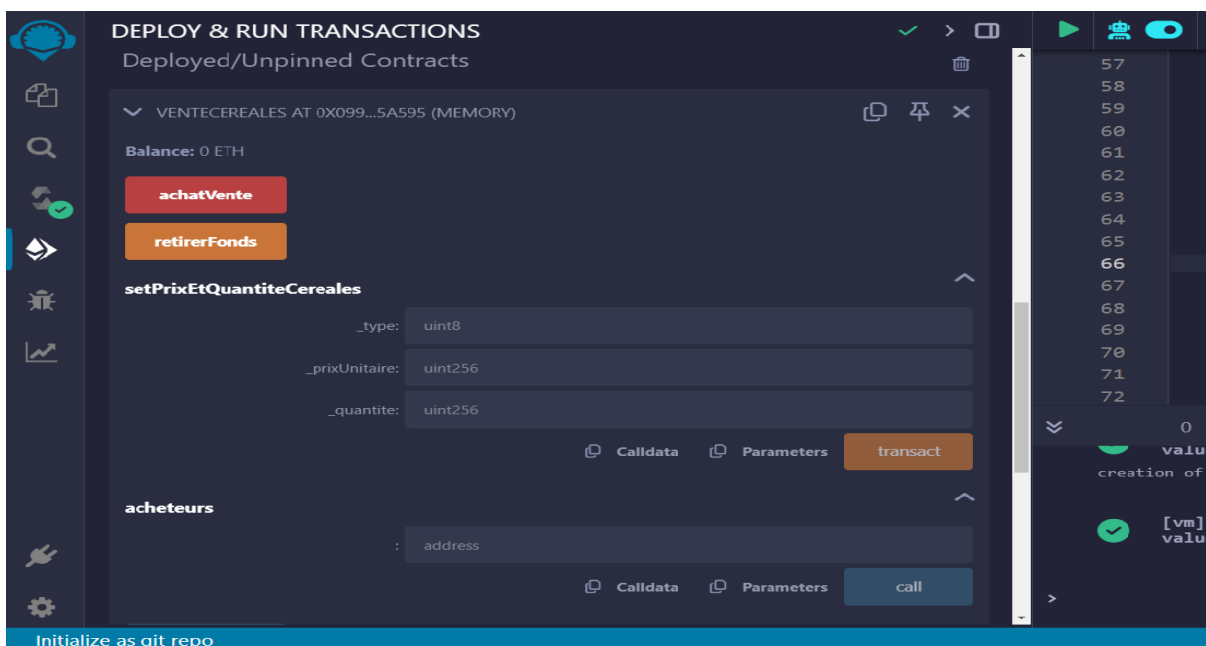


Figure 31 : Interface de saisies des commandes et d'entré l'adresse de l'acheteur

Cette interface permet aux utilisateurs de saisir le nombre de commandes souhaitées et d'entrer l'adresse de l'acheteur.

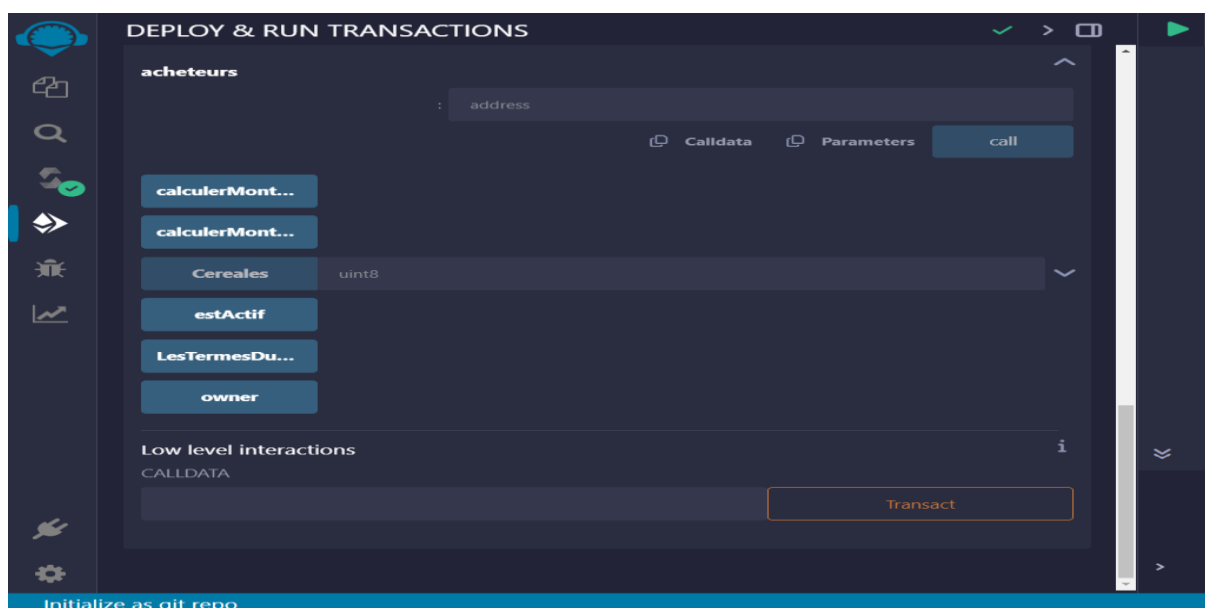


Figure 32 : Interface de visualisations du montant total et des termes du contrat

Cette interface permet de visualiser le montant hors taxes, le montant toutes taxes comprises de la commande, les termes du contrat, l'état du smart contract (actif ou non), et l'adresse du propriétaire.

f) Exemple d'exécution d'une transaction

Le vendeur active le contrat passe les commandes entre l'adresse de portefeuille électronique du client. Lorsque le vendeur valide les commandes, le smart contract génère et affiche les résultats, mais ceux-ci sont hachés pour préserver la confidentialité des informations. Ainsi, à la fin de la transaction, le vendeur clique sur retireFonds, ce qui créditera automatiquement son compte si les fonds sont disponibles, sinon il recevra un message d'alerte lui informant « pas de fonds disponibles ».

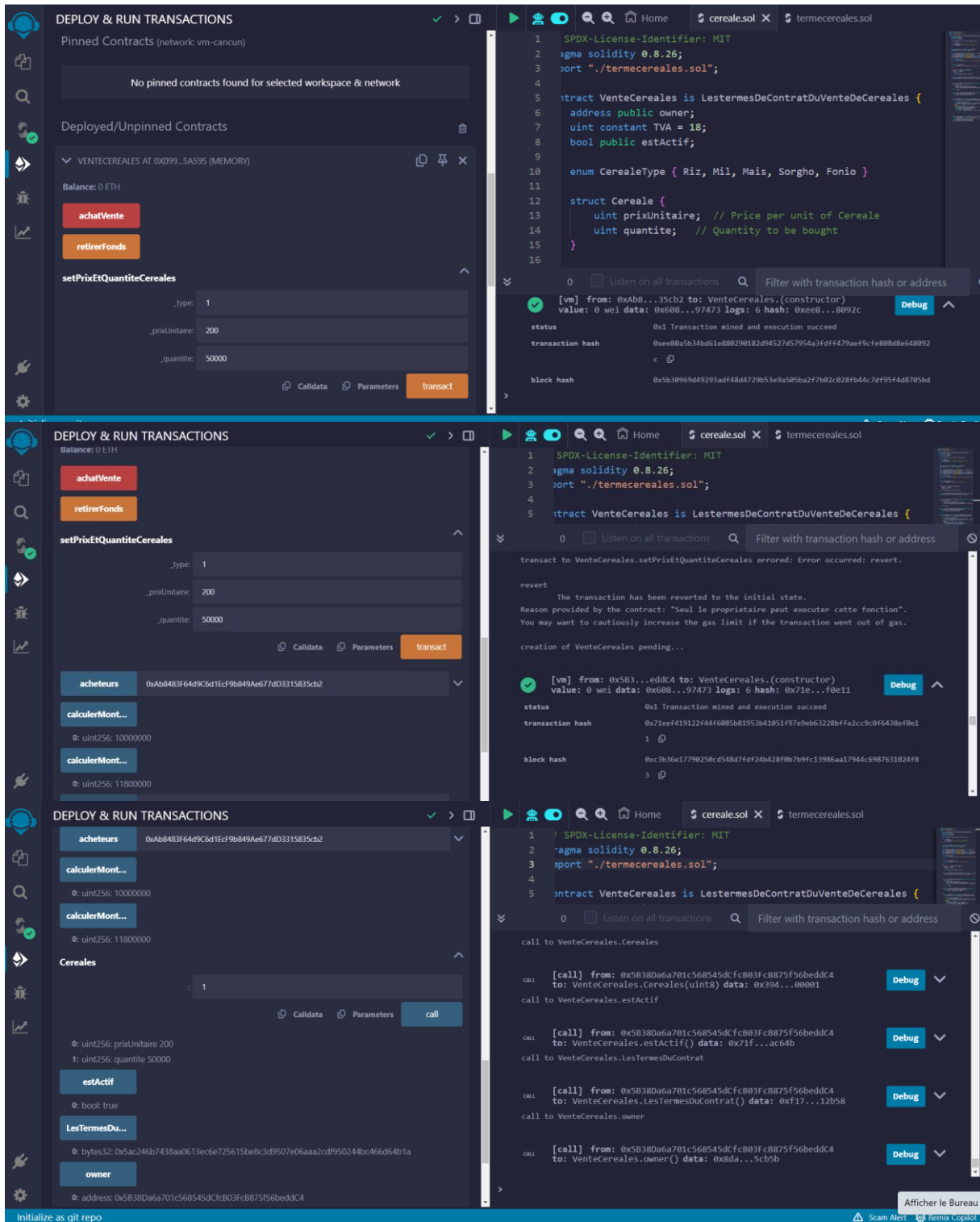


Figure 33 : Resultat d'execution d'un smart contrat

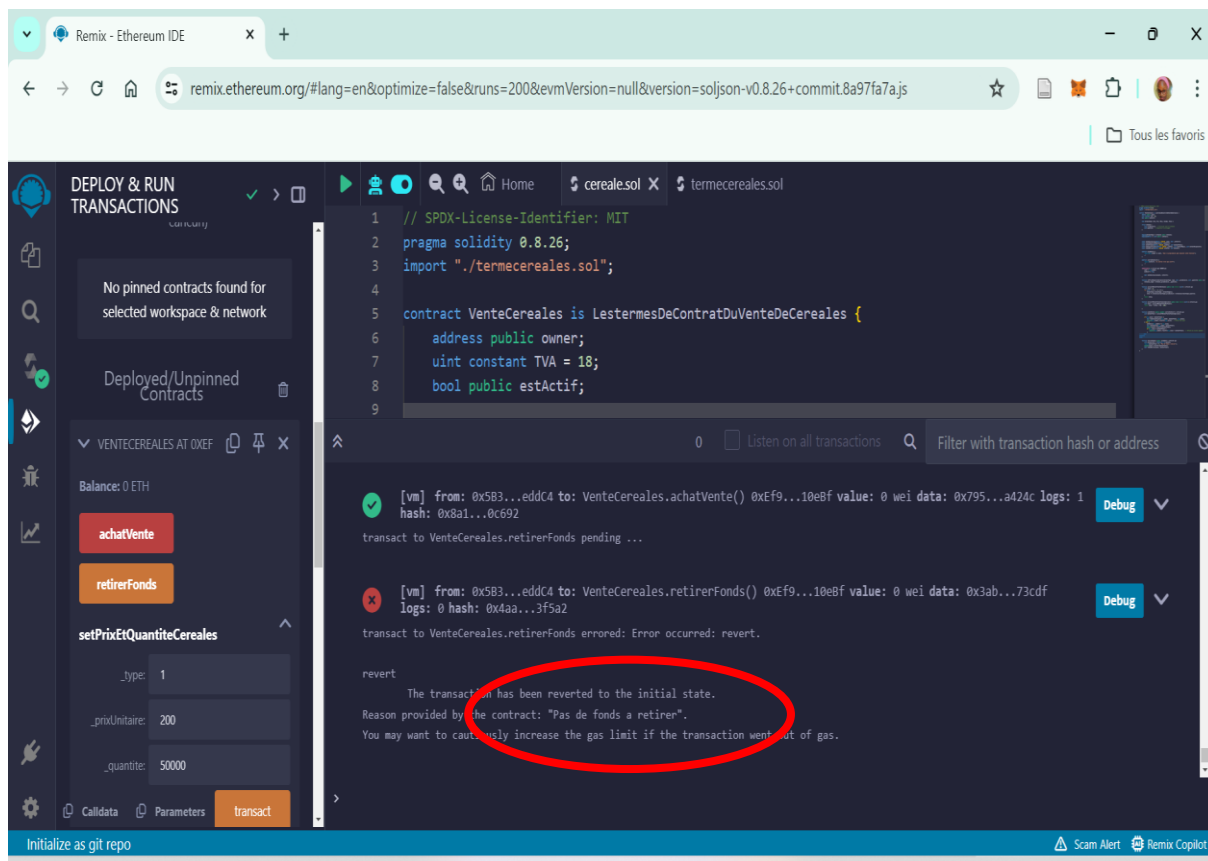


Figure 34 : Illustration d'action de retrait

Comme constaté ci-dessus, vu qu'il n'y a pas de fonds disponibles, à la fin de la transaction, si on clique sur `retirerFonds`, on reçoit le message susmentionné encadré en rouge.

Conclusion

En résumé, l'étude des outils et langages de développement des smart contracts, l'analyse et la conception du système, ainsi que la réalisation d'un système de smart contract pour le marché céréalier du Sénégal, a permis d'illustrer le potentiel des *smart contracts* dans des applications concrètes. Les outils et langages de programmation tels que Solidity, Truffle et Remix sont essentiels pour développer des smart contracts robustes et sécurisés. L'analyse et la conception du système ont mis en lumière les besoins spécifiques du marché céréalier sénégalais, permettant de créer une solution adaptée et efficace. Enfin, la réalisation du système de smart contract a démontré la capacité de cette technologie à améliorer la transparence, la confiance et l'efficacité des transactions dans ce secteur clé, offrant ainsi une perspective prometteuse pour l'avenir du commerce des céréales au Sénégal et au-delà.

Conclusion générale

Nous sommes parvenus à la conclusion de notre travail sur les innovations financières et les smart contracts. L'étude avait pour objectif d'examiner les smart contracts dans le contexte des innovations financières et de concevoir un système de smart contract pour le marché céréalier du Sénégal. Étant donné que la finance décentralisée et les smart contracts sont des domaines récents mais très intéressants, il était nécessaire de mener une étude détaillée sur leur importance.

La finance décentralisée (DeFi) est une innovation financière révolutionnaire. Grâce à la technologie blockchain et aux smart contracts, elle propose des services financiers similaires à ceux de la finance traditionnelle (TradFi), mais de manière automatisée et plus efficace. Cette automatisation réduit les coûts, élimine les intermédiaires et augmente la transparence des transactions. En raison de sa nature transfrontalière, la DeFi offre une véritable opportunité à l'Afrique, facilitant les transactions financières entre les pays du continent et de la Diaspora. En adoptant la DeFi, les nations africaines pourraient bénéficier d'une infrastructure financière moderne, sécurisée et accessible à tous. Bien que la TradFi et la finance centralisée (CeFi) offrent des avantages établis en termes de régulation et de stabilité, la DeFi se distingue comme la solution la plus avantageuse grâce à sa transparence accrue, ses coûts réduits et son accessibilité mondiale, proposant ainsi une alternative innovante et plus efficace aux modèles financiers traditionnels et centralisés.

Ainsi, des recherches connexes ont été menées pour permettre aux populations africaines de mieux comprendre la finance décentralisée et les smart contracts. Dans la première partie de notre mémoire, nous avons abordé en détail la finance décentralisée, la blockchain et les smart contracts. Ensuite, analysé les avantages concurrentiels des innovations financières par rapport à la finance traditionnelle (TradFi), en mettant l'accent sur les aspects de coût, de fiabilité et d'efficacité. La deuxième partie s'est concentrée sur les avantages concurrentiels des smart contracts dans le marché céréalier de l'Afrique, en particulier du Sénégal. Enfin, nous avons implémenté un processus de smart contract dans le marché des céréales du Sénégal.

Le marché céréalier sénégalais est confronté à des problèmes de fraudes, de litiges et d'inefficacité. L'automatisation des processus pourrait améliorer l'efficacité, garantir la transparence et réduire les coûts des transactions. Cette transformation faciliterait les échanges et renforcerait la confiance entre les acteurs du secteur. C'est dans cette optique que nous avons proposé la mise en place d'un smart contract pour le marché céréalier du Sénégal.

A cet effet, le smart contract créé permettra :

- De passer des commandes
- D'entrer l'adresse de portefeuille électronique de l'acheteur
- De Valider des Commandes
- D'activer le contrat
- De voir les termes du contrat
- De voir l'adresse du propriétaire du contrat
- Au propriétaire de retirer ses fonds

À l'avenir, l'intégration des smart contracts dans le marché céréalier sénégalais pourrait servir de modèle pour d'autres secteurs et régions cherchant des solutions innovantes pour améliorer la transparence et l'efficacité des transactions. Les recherches futures pourraient se concentrer sur l'optimisation de la sécurité des smart contracts, leur convivialité, et la sensibilisation des acteurs locaux à leur utilisation. De plus, des stratégies visant à sensibiliser massivement la population africaine sur l'importance de l'adoption de la DeFi, des contrats intelligents et de la blockchain devraient être élaborées. Enfin, il est essentiel d'identifier et de surmonter les obstacles potentiels liés à l'implantation des smart contracts dans le secteur céréalier de l'UEMOA.

Bibliographie

- 01 Net—Staking qu'est-ce que c'est, comment ça fonction.html. (s. d.). Consulté 18 décembre 2023, à l'adresse <https://www.01net.com/crypto/staking/>
- 20230403_finance_decentralisee_desintermediee_fr.pdf. (s. d.). Consulté 18 décembre 2023, à l'adresse https://acpr.banque-france.fr/sites/default/files/medias/documents/20230403_finance_decentralisee_desintermediee_fr.pdf
- ADAN. (2021). La finance décentralisée et l'émergence de nouveaux risques. Adan. <https://www.adan.eu/publication/la-finance-decentralisee-et-lemergence-de-nouveaux-risques/>
- Allam, Z. (2018). On Smart Contracts and Organisational Performance : A Review of Smart Contracts through the Blockchain Technology. *Review of Economic and Business Studies*, 11(2), 137-156. <https://doi.org/10.1515/rebs-2018-0079>
- Baber, H. (2020). Blockchain-Based Crowdfunding. In R. da Rosa Righi, A. M. Alberti, & M. Singh (Éds.), *Blockchain Technology for Industry 4.0: Secure, Decentralized, Distributed and Trusted Industry Environment* (p. 117-130). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1137-0_6
- Balasy, C. de. (2023, mai 23). Comprendre le Market Cap : De la finance traditionnelle à la Crypto. Coinhouse. <https://www.coinhouse.com/fr/blog/actualites/comprendre-le-market-cap-de-la-finance-traditionnelle-a-la-crypto/>
- Bitcoin au Sénégal : Pourquoi ce pays africain utilise-t-il le BTC ? (s. d.). Binance Square. Consulté 30 mai 2024, à l'adresse <https://www.binance.com/fr/square/post/383738>
- Blockchain définition, fonctionnement et applica.html. (s. d.). Consulté 15 février 2024, à l'adresse <https://www.talend.com/fr/resources/blockchain/>
- Blockchain—Embark Framework—MLG Blockchain. (s. d.). Consulté 4 mai 2024, à l'adresse <https://mlgblockchain.com/learn/tutorials/blockchain-embark-framework/>
- Chen et Bellavitis—2019—Decentralized Finance Blockchain Technology and t.pdf. (s. d.). Consulté 18 décembre 2023, à l'adresse https://papers.ssrn.com/sol3/Delivery.cfm/SSRN_ID3472664_code1184470.pdf?abstractid=3418557&mirid=1
- de Coussergues, S., Bourdeaux, G., & Péran, T. (2017). Chapitre 2. La réglementation bancaire. In *Gestion de la banque* (p. 41-88). Dunod. <https://www.cairn.info/gestion-de-la-banque--9782100758784-p-41.htm>
- DeFi, CeFi vs TradFi | Centre des Professions Financières. (s. d.). Consulté 28 mai 2024, à l'adresse <https://professionsfinancieres.com/DeFi-CeFi-vs-TradFi>
- DefiLlama. (2024). DefiLlama. <https://defillama.com/>
- Diallo, N., Shi, W., Xu, L., Gao, Z., Chen, L., Lu, Y., Shah, N., Carranco, L., Le, T.-C., Surez, A. B., & Turner, G. (2018). eGov-DAO : A Better Government using Blockchain based Decentralized Autonomous Organization. 2018 International Conference on eDemocracy & eGovernment (ICEDEG), 166-171. <https://doi.org/10.1109/ICEDEG.2018.8372356>
- Diana. (2023, décembre 18). Qu'est-ce que le glissement dans DeFi et comment les solutions de couche 2 peuvent-elles aider ? <https://blockchainmagazine.net/what-is-slippage-in-defi-and-how-can-layer-2-solutions-can-help/>

- etherscan.io. (s. d.). Ethereum (ETH) Blockchain Explorer. Ethereum (ETH) Blockchain Explorer. Consulté 4 mai 2024, à l'adresse <https://etherscan.io/>
- Etude_UEMOA-STOCKS_Rapport_Final.pdf. (s. d.). Consulté 3 juin 2024, à l'adresse https://www.inter-reseaux.org/wp-content/uploads/Etude_UEMOA-STOCKS_Rapport_Final.pdf
- Finance centralisée sur Blockchain (CeFi). (s. d.). Plisio. Consulté 27 mai 2024, à l'adresse <https://plisio.net/fr/blog/centralized-finance-on-blockchain-cefi>
- Frankenreiter, J. (2019). The Limits of Smart Contracts. Journal of Institutional and Theoretical Economics JITE. <https://doi.org/10.1628/jite-2019-0021>
- Fuzzing. (s. d.). Consensys Diligence. Consulté 4 mai 2024, à l'adresse <https://consensys.io/diligence/fuzzing/>
- Gobat, J. (s. d.). L'ABC de l'économie : Le rôle des banques.
- HENDERSON - 2022—Comment fonctionne la blockchain .html. (s. d.). Consulté 15 février 2024, à l'adresse <https://lehub.bpifrance.fr/comment-fonctionne-blockchain/>
- Hjálmarsson, F. Þ., Hreiðarsson, G. K., Hamdaqa, M., & Hjalmtýsson, G. (2018). Blockchain-Based E-Voting System. 2018 IEEE 11th International Conference on Cloud Computing (CLOUD), 983-986. <https://doi.org/10.1109/CLOUD.2018.00151>
- Jensen et al. - 2021—An Introduction to Decentralized Finance (DeFi).pdf. (s. d.). Consulté 18 décembre 2023, à l'adresse <https://csimq-journals.rtu.lv/article/download/csimq.2021-26.03/2570>
- Kirvesoja—2022—Advantages and disadvantages of decentralized fina.pdf. (s. d.). Consulté 18 décembre 2023, à l'adresse <https://jyx.jyu.fi/bitstream/123456789/81722/1/URN%3aNBN%3afi%3ajyu-202206153332.pdf>
- La blockchain pour les nuls, explication simple du.html. (s. d.). Consulté 15 février 2024, à l'adresse <https://www.atlas-mag.net/article/la-blockchain-pour-les-nuls-explication-simple-du-mode-de-fonctionnement>
- La start-up africaine de la semaine : CTIC, l'incubateur du numérique sénégalais - Jeune Afrique.com. (s. d.). JeuneAfrique.com. Consulté 23 juillet 2024, à l'adresse <https://www.jeuneafrique.com/330676/economie-entreprises/start-up-africaine-de-semaine-ctic/>
- Largest banks market capitalization 2023. (s. d.). Statista. Consulté 26 avril 2024, à l'adresse <https://www.statista.com/statistics/265135/market-capitalization-of-the-banking-sector-worldwide/>
- Lau et Tse—2021—Decentralized Basic Income Creating Wealth with O.pdf. (s. d.). Consulté 18 décembre 2023, à l'adresse <https://arxiv.org/pdf/2107.14312.pdf>
- Le Numérique au Sénégal : Les chiffres-clés. (s. d.). Consulté 21 mai 2024, à l'adresse https://www.presidence.sn/actualites/le-numerique-au-senegal-les-chiffres-cles_596
- Le Sénégal en passe de réussir sa transformation digitale ? (s. d.). UNDP. Consulté 20 mai 2024, à l'adresse <https://www.undp.org/fr/africa/blog/le-senegal-en-passe-de-reussir-sa-transformation-digitale>
- LETORT, L. (2022, août 14). LA STRATÉGIE D'UNE BANQUE. école de la microfinance. <http://www.ecole-de-la-microfinance.com/la-strategie-dune-banque/>
- Limites des contrats intelligents. (s. d.). FasterCapital. Consulté 20 mars 2024, à l'adresse <https://fastercapital.com/fr/startup-sujet/Limites-des-contrats-intelligents.html>

- Marino, B., & Juels, A. (2016). Setting Standards for Altering and Undoing Smart Contracts. In J. J. Alferes, L. Bertossi, G. Governatori, P. Fodor, & D. Roman (Éds.), *Rule Technologies. Research, Tools, and Applications* (p. 151-166). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42019-6_10
- Marko—2020—Les principales applications de la technologie blo.html. (s. d.). Consulté 15 février 2024, à l'adresse <https://www.kokkinizita.net/domaines-dapplication-blockchain/>
- Mauro, E. W. D. (2015). *Smart Contracts Operating on Blockchain: Advantages and Disadvantages*. Edizioni Scientifiche Italiane. <https://doi.org/10.23815/2421-2156.ItaLJ>
- Mishkin—1992—Anatomy of a financial crisis.pdf. (s. d.). Consulté 18 décembre 2023, à l'adresse <https://www.nber.org/papers/w3934.pdf>
- Momtaaz—2022—How Efficient is Decentralized Finance (DeFi).pdf. (s. d.). Consulté 18 décembre 2023, à l'adresse https://papers.ssrn.com/sol3/Delivery.cfm/SSRN_ID4644868_code2433926.pdf?abstractid=4063670&mirid=1
- Morizon, V. (2021, novembre 9). Qu'est-ce que la finance décentralisée (DeFi) ? Définition et explication. Cryptoast. <https://cryptoast.fr/defi-finance-decentralisee-explications/>
- Ndiaye, M., & Konate, K. (2022). *Security Strengths and Weaknesses of Blockchain Smart Contract System : A Survey*.
- No.uisinspera788740596918795.pdf. (s. d.). Consulté 18 décembre 2023, à l'adresse <https://uis.brage.unit.no/uis-xmlui/bitstream/handle/11250/2976405/no.uis%3ainspera%3a78874059%3a6918795.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Nzuva, S. (s. d.). *Smart Contracts Implementation, Applications, Benefits, and Limitations*. Journal of Information Engineering and Applications.
- Ozcan—2021—Decentralized Finance.pdf. (s. d.). Consulté 22 décembre 2023, à l'adresse https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/85884057/978-3-030-72624-9_4-libre.pdf?1652376089=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DDecentralized_Finance.pdf&Expires=17032641
- Ozili—2022—Decentralized finance research and developments ar.pdf. (s. d.). Consulté 18 décembre 2023, à l'adresse <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs42786-022-00044-x.pdf>
- Plisio—2023—Rug Pulls un guide pour reconnaître les escroque.html. (s. d.). Consulté 2 février 2024, à l'adresse <https://plisio.net/fr/blog/rug-pulls-a-guide-to-recognizing-defi-scams>
- Principaux Centralized Exchange (CEX) Token par capitalisation boursière. (s. d.). CoinMarketCap. Consulté 24 avril 2024, à l'adresse <https://coinmarketcap.com/fr/view/centralized-exchange/>
- Principaux jetons DeFi par capitalisation boursière. (s. d.). CoinGecko. Consulté 16 avril 2024, à l'adresse <https://www.coingecko.com/fr/categories/decentralized-finance-defi>
- Que sont les frais de gas (ou gaz) en crypto ? (Gas fees). (s. d.). Coin Academy. Consulté 16 avril 2024, à l'adresse <https://coinacademy.fr/academie/frais-gaz-gas-fee/>
- Qu'est-ce que la capitalisation boursière. (s. d.). BDC.ca. Consulté 16 avril 2024, à l'adresse <https://www.bdc.ca/fr/articles-outils/boite-outils-entrepreneur/gabarits-documents-guides-affaires/glossaire/capitalisation-boursiere>

- Qu'est-ce que la CeFi ? | La finance centralisée au sein des cryptomonnaies. (s. d.-a). Skrill. Consulté 5 avril 2024, à l'adresse <https://www.skrill.com/fr/crypto/the-skrill-crypto-academy/intermediate/quest-ce-que-la-cefi/>
- Qu'est-ce que la CeFi ? | La finance centralisée au sein des cryptomonnaies. (s. d.-b). Skrill. Consulté 27 mai 2024, à l'adresse <https://www.skrill.com/fr/crypto/the-skrill-crypto-academy/intermediate/quest-ce-que-la-cefi/>
- Qu'est-ce que la technologie blockchain ? - IBM Blockchain | IBM. (s. d.). Consulté 6 février 2024, à l'adresse <https://www.ibm.com/fr-fr/topics/blockchain>
- Schär, F. (2021). Decentralized Finance: On Blockchain- and Smart Contract-Based Financial Markets. *Review*, 103(2). <https://doi.org/10.20955/r.103.153-74>
- Scharnowski et Jahanshahloo—2023—The economics of liquid staking derivatives Basis.pdf. (s. d.). Consulté 18 décembre 2023, à l'adresse https://papers.ssrn.com/sol3/Delivery.cfm/SSRN_ID4362287_code2521705.pdf?abstractid=4180341&mirid=1
- Shah et al. - 2023—A systematic review of decentralized finance proto.html. (s. d.). Consulté 18 décembre 2023, à l'adresse <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666603023000179>
- SHARMA. (s. d.). Quels sont les outils les plus utiles pour le développement de contrats intelligents ? Consulté 4 mai 2024, à l'adresse <https://fr.linkedin.com/advice/0/what-most-useful-tools-smart-contract-development-skills-blockchain?lang=fr>
- SHARMA - 2023—What Is Decentralized Finance (DeFi) and How Does .html. (s. d.). Consulté 18 décembre 2023, à l'adresse <https://www.investopedia.com/decentralized-finance-defi-5113835>
- SoK: Decentralized Finance (DeFi) | Proceedings of the 4th ACM Conference on Advances in Financial Technologies. (s. d.). Consulté 18 décembre 2023, à l'adresse <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3558535.3559780>
- Sultan et al. - 2018—Conceptualizing Blockchains Characteristics & App.pdf. (s. d.). Consulté 5 février 2024, à l'adresse <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1806/1806.03693.pdf>
- Takyar, A. (2020, novembre 17). DeFi vs CeFi | Centralized and Decentralized Finance Comparison. LeewayHertz - Software Development Company. <https://www.leewayhertz.com/defi-vs-cefi/>
- Tanguy, C. (s. d.). Banques traditionnelles 2023 : Offres et comparatif. <https://www.cafedelabourse.com>. Consulté 6 mai 2024, à l'adresse <https://www.cafedelabourse.com/comparatif-banques-classiques-meilleures-banques-traditionnelles>
- Team, S. C. (2023, mai 24). Truffle in Blockchain: Revolutionizing DApp Development | Shardeum. Shardeum | EVM based Sharded Layer 1 Blockchain. <https://shardeum.org/blog/truffle/>
- Team—2023—Chainalysis The 2023 Global Crypto Adoption Index.html. (s. d.). Consulté 25 janvier 2024, à l'adresse <https://www.chainalysis.com/blog/2023-global-crypto-adoption-index/>
- Tech : Le Sénégal, nouvel eldorado des développeurs africains ? - Jeune Afrique.com. (s. d.). JeuneAfrique.com. Consulté 22 mai 2024, à l'adresse <https://www.jeuneafrique.com/1339697/economie-entreprises/tech-le-senegal-nouvel-eldorado-des-developpeurs-africains/>

- Tous, L. F. P. (2023, mai 11). Les frais de tenue de compte. La finance pour tous. <https://www.lafinancepourtous.com/pratique/banque/le-compte-bancaire/ce-que-coute-un-compte/les-frais-de-tenue-de-compte/>
- Vigliotti, M. G. (2021). What Do We Mean by Smart Contracts? Open Challenges in Smart Contracts. *Frontiers in Blockchain*, 3. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbloc.2020.553671>
- World Bank Open Data. (s. d.). World Bank Open Data. Consulté 24 mai 2024, à l'adresse <https://data.worldbank.org>
- Yuan, Y., & Wang, F.-Y. (2016). Towards blockchain-based intelligent transportation systems. 2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2663-2668. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2016.7795984>
- Zhang—2021—Application Classifications of Decentralized Finan.pdf. (s. d.). Consulté 22 décembre 2023, à l'adresse <https://www.atlantis-press.com/article/125955033.pdf>
- Zou, W., Lo, D., Kochhar, P. S., Le, X.-B. D., Xia, X., Feng, Y., Chen, Z., & Xu, B. (2021). Smart Contract Development : Challenges and Opportunities. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 47(10), 2084-2106. <https://doi.org/10.1109/TSE.2019.2942301>

Annexes

The screenshot shows the Remix IDE interface with the following Solidity code in the editor:

```
1 // SPDX-License-Identifier: MIT
2 pragma solidity 0.8.26;
3 import "./termecereales.sol";
4
5 contract VenteCereales is LestermesDeContratDuVenteDeCereales {
6     address public owner;
7     uint constant TVA = 18;
8     bool public estActif;
9
10    enum CerealeType { Riz, Mil, Mais, Sorgho, Fonio }
11
12    struct Cereale {
13        uint prixUnitaire; // Price per unit of Cereale
14        uint quantite; // Quantity to be bought
15    }
16
17
18    mapping(CerealeType => Cereale) public Cereales;
19    mapping(address => uint) public acheteurs;
20
```

The interface at the bottom shows a call to `VenteCereales.owner`.

The screenshot shows the continuation of the Solidity contract in the Remix IDE:

```
21
22    event venteInitialise(address indexed _owner, bool _estActif);
23    event statutDuContratModifie(bool _estActif);
24    event venteTermine(address indexed _acheteur, uint montantTotal);
25    event fondsInsuffisants(address indexed _acheteur, uint montantRequis, uint montantDisponible);
26    event fondsRetires(address indexed _acheteur, uint montant);
27
28    modifier onlyOwner() {
29        require(msg.sender == owner, "Seul le propriétaire peut executer cette fonction");
30        _;
31    }
32
33    modifier contratEstActif() {
34        require(estActif, "Le contrat n'est pas actif");
35        _;
36    }
37
38    constructor() {
39        infinite gas 868800 gas
40        owner = msg.sender;
41        estActif = true;
42
43        emit venteInitialise(owner, estActif);
44    }

```

```
44
45 function setPrixEtQuantiteCereales(CerealeType _type, uint _prixUnitaire, uint _quantite) public onlyOwner {
46     Cereales[_type] = Cereale(_prixUnitaire, _quantite);
47 }
48
49 function calculerMontantTotalHosTaxes() public view returns (uint) {
50     uint total = 0;
51     for (uint i = 0; i < 5; i++) {
52         CerealeType cerealeType = CerealeType(i);
53         total += Cereales[cerealeType].prixUnitaire * Cereales[cerealeType].quantite;
54     }
55     return total;
56 }
57
58 function calculerMontantToutesTaxesComprises() public view returns (uint) {
59     uint total = calculerMontantTotalHosTaxes();
60     return total + (total * TVA / 100);
61 }
62 }
```

```
64
65 function achatVente() public payable contratEstActif {
66     uint montantTotal = calculerMontantToutesTaxesComprises();
67
68     if (msg.value < montantTotal) {
69         emit fondsInsuffisants(msg.sender, montantTotal, msg.value);
70         payable(msg.sender).transfer(msg.value); // Refund the buyer
71     } else {
72         acheteurs[msg.sender] += msg.value;
73         emit venteTermine(msg.sender, montantTotal);
74         payable(owner).transfer(montantTotal);
75         if (msg.value > montantTotal) {
76             payable(msg.sender).transfer(msg.value - montantTotal); // Refund any excess payment
77         }
78     }
79 }
80
81 function retirerFonds() public onlyOwner {
82     uint montantTotal = address(this).balance;
83     require(montantTotal > 0, "Pas de fonds a retirer");
84     payable(owner).transfer(montantTotal);
85     emit fondsRetires(owner, montantTotal);
86 }
87 }
```

C'est cette structure de code qui nous a permis de mettre en place notre smart contract pour le marché céréalier du Sénégal. Grâce à ce code, nous avons pu automatiser les transactions et garantir leur transparence. Il facilite également la sécurisation des fonds et la traçabilité des opérations.

Table des matières

Sommaire.....	i
Glossaire Anglais-français.....	ii
Sigles et abréviations.....	iii
Liste des tableaux.....	vi
Dédicace.....	vii
Remerciements.....	viii
Résumé et abstract.....	ix
a) Résumé	ix
b) Abstract	ix
Introduction générale.....	1
1.2 - Problématique.....	2
1.3 - Objectifs de la recherche.....	2
1.4 - Les hypothèses de l'étude.....	3
1.5 - Intérêt et pertinence de la recherche.....	3
1.6 - Plan.....	3
PARTIE 1 : la finance décentralisée potentialite et domaines d'application.....	4
Chapitre 1 : La finance décentralisée entre économie numérique et mode de financement ..	5
Introduction.....	6
Section 1 : Ecosystème de la finance décentralisée (DeFi).....	7
1.1 - L'environnement de la finance décentralisée (DeFi).....	7
a) Définition de la finance décentralisée.....	7
b) Tendances et activités de la finance décentralisée dans le monde.....	9
1.2 - L'offre technique et les acteurs.....	10
a) Les protocoles de prêt-emprunt collatéralisés (lending).....	10
b) L'échange et l'achat-vente de jetons (swap).....	11
1.3 - Valeur de marché et les stratégies de staking et de liquid staking.....	11
a) Les protocoles de yield farming (ou liquidity mining).....	12
b) Les prêts-emprunts sans collatéral (flash loans).....	12
c) Les protocoles d'agrégation.....	12
1.4 - Efficacité de DEFI sur crypto-actifs.....	13
a) Les protocoles d'assurances décentralisées.....	13
b) Les protocoles de financement participatif.....	13
c) Les protocoles de marchés prédictifs.....	13
1.5 - Les limites des institutions financières traditionnelles.....	14
Section 2 : Les avantages et les risques de la DeFi.....	15
2.1 - Les avantages de la finance décentralisée.....	15
2.2 - Les opportunités de la finance décentralisée.....	16
2.3 - Les risques inhérents à l'investissement de la DeFi.....	16
2.3.1 - Risques liés aux marchés non réglementés et régulés.....	16

2.3.2 -	Risque de manipulations de prix	17
2.3.3 -	Risque de glissement de valeur (slippage risk)	17
2.3.4 -	Risque de Rug Pull.....	17
2.4 -	Les principaux pays adoptant la DeFi	18
Section 3 : La blockchain : dimension et domaine d'application		19
3.1 -	Blockchain : définition	19
3.2 -	Fonctionnement de la Blockchain	20
3.3 -	Domaine d'application de la blockchain	21
Conclusion		22
Chapitre 2 : Smart contracts dans la finance décentralisée (DeFi) : fonctionnement et avantages comparatifs		23
Introduction.....		24
Section 1 : Avantages des smart contracts en terme d'efficience et d'efficacité et ses limites.....		25
1.1 -	Automatisation des systèmes d'organisation	25
a)	Automatisation	25
b)	Précision des transactions et flux d'informations	25
c)	Réduction des coûts et avantage concurrentiel.....	26
d)	Rapidité et efficacité des échanges entre les acteurs	26
e)	Transparence et sécurité des données échangés	27
1.2 -	Les limites des smart contracts	27
a)	Immuabilités.....	27
b)	Risques potentiels de sécurité	28
c)	Oracle 28	
d)	Cadre juridique	29
e)	Confidentialité.....	29
Section 2 : Comparatifs de coûts associés aux finances décentralisée, centralisée et traditionnelle.....		30
2.1 -	Coûts associés à la finance décentralisée (DeFi)	30
2.1.1 -	Frais de transaction	30
2.1.2 -	La capitalisation boursière de la DeFi.....	31
2.2 -	Coûts associés à la finance centralisée (CeFi)	36
2.2.1 -	Frais de dépôt et de retrait.....	36
2.2.2 -	Frais de trading	36
2.2.3 -	Frais de gestion	36
2.2.4 -	Capitalisation boursière de la finance centralisée dans le monde	37
2.3 -	Comparatifs de Coûts associés à la finance traditionnelle	40
2.3.1 -	Frais de service	40
2.3.2 -	Frais de gestion de compte.....	40
2.3.3 -	Frais de conversion de devise	41
2.3.4 -	Capitalisation boursière de la finance traditionnelle	41
2.4 -	Analyse comparative	43
Conclusion		45

PARTIE 2 : avantages concurrentiels des smart contracts sur le marché céréalier du Sénégal	46
Chapitre 3 : Présentation du paysage numérique du Sénégal.....	47
Introduction.....	48
Section 1 : Dimension et potentiel numérique.....	49
1.1 - Les potentialités du Sénégal en terme de DeFi.....	49
a) Etat des lieux.....	49
b) Potentiel numérique	49
1.2 - La dimension des stratégies de l'économie numérique	50
a) Stratégie numérique	50
b) Education et compétences numériques	51
Section 2 : Défis et perspectives sur le marché sénégalais	52
2.1 - Potentiel numérique et accessibilités de la population aux services.	52
2.2 - Cadrage et adaptation de la TradFi, de la DeFi et de la CeFi au Sénégal.	58
2.2.1 - Cadrage et adaptation de la TradFi au Sénégal	58
2.2.2 - Cadrage et adaptation de la DeFi et de la CeFi au Sénégal.....	60
2.3 - Cas d'application de smart contracts dans le marché céréalier du Sénégal	62
a) Problèmes liés aux processus de contrats traditionnels dans le marché céréalier du Sénégal ...	62
b) Impact de l'application des smart contracts dans le marché céréalier du Sénégal	63
c) Avantages de l'application des smart contracts dans le marché céréalier du Sénégal.....	64
Conclusion.....	65
Chapitre 4 : Procédés techniques et schémas comparatifs entre finance décentralisée, finance traditionnelle et finance centralisée	66
Introduction.....	67
Section 3 : Fonctionnement et structure de la TradFi, de la DeFi et de la CeFi	68
3.1 - La finance traditionnelle (TradFi)	68
3.1.1 - Structure organisationnelle de la TradFi	68
3.1.2 - Mécanisme et fonctionnement de la TradFi.....	69
3.2 - La finance décentralisée (DeFi).....	70
3.2.1 - Schéma structurel de la DeFi	70
3.2.2 - Fonctionnement de la DeFi	71
3.3 - Finance centralisée (CeFi)	72
3.3.1 - Schéma structurel de la CeFi	72
3.3.2 - Fonctionnement de la CeFi	74
Section 4 : Différence entre TradFi, DeFi et CeFi.....	75
Section 5 : Etude comparative des schémas structurels organisationnels de la TradFi, de la DeFi et de la CeFi.	77
5.1 - Avantages et inconvénients des acteurs du schéma structurel de la TradFi	79
5.2 - Avantages et inconvénients des acteurs du schéma structurel de la DeFi	80
5.3 - Avantages et inconvénients des acteurs du schéma structurel de la CeFi.....	82
Conclusion	84
Chapitre 5 : Implémentation d'un processus de smart contract dans le marché des céréales	85

Introduction.....	86
Section 6 : Outils et langages de développement des smart contracts	87
6.1 - Outils de développement des smart contracts.....	87
a) Les plateformes Blockchain.....	87
b) Environnements de développement intégrés (IDE)	87
6.2 - Etude comparative et choix d'outils et du langage	89
a) Etude comparative.....	89
b) Plateformes de développement	90
c) Environnement de développement intégrés (IDE)	90
6.3 - Choix d'outils et du langage	91
a) Choix de l'environnement de développement.....	91
b) Choix de la plateforme et du langage.....	91
Section 7 : Analyse et conception du système	96
7.1 - Identifications des acteurs et leurs rôles	96
a) Diagramme structurel des smart contract.....	97
b) Diagramme de cas d'utilisation.....	97
c) Diagramme de classe.....	98
d) Diagramme de séquence	99
7.2 - Réalisation d'un système de smart contract pour le marché céréalier du Sénégal.....	100
a) Présentation de l'interface de notre application	100
b) Fichier céréale.....	101
c) Contrat Vente Céréales	101
d) Les différentes fonctionnalités	102
e) La spécificité des fonctionnalités	103
f) Exemple d'exécution d'une transaction.....	104
Conclusion	106
Conclusion générale	107
Bibliographie	A
Annexes	F
Table des matières	H