

La Blockchain et ses impacts sur la chaîne d'approvisionnement du secteur alimentaire

Blockchain and its impact on the food supply chain

BADIK Ayoub

Doctorant en Sciences Économiques.

Laboratoire de recherche Business Intelligence, Gouvernance des Organisations, Finance et Criminalité Financière {BIGOFCE}-Université Hassan II - Faculté des Sciences Juridiques Économiques et Sociales
Ain-chock, Casablanca, Maroc. - ayoub.badik@gmail.com

El HASSANI Ihsane

Professeure habilitée

Laboratoire de recherche Business Intelligence, Gouvernance des Organisations, Finance et Criminalité Financière {BIGOFCE}-Université Hassan II - Faculté des Sciences Juridiques Économiques et Sociales
Ain-chock, Casablanca, Maroc. - elhassaniihsane66@gmail.com

Résumé : La sécurité alimentaire et la prévention de la falsification des produits tout au long de la chaîne d'approvisionnement représentent aujourd'hui des enjeux majeurs à l'échelle mondiale. La technologie Blockchain émerge comme une technologie prometteuse susceptible de transformer le fonctionnement des chaînes d'approvisionnement du secteur alimentaire.

La Blockchain, qui trouve des applications principalement dans le secteur financier, peut également être utilisée pour la sécurité et le contrôle de la chaîne d'approvisionnement du secteur alimentaire. Cette technologie a fait l'objet d'une grande attention dans le secteur de la logistique, car elle promet d'accroître l'efficacité et l'automatisation des processus d'approvisionnement. Ainsi, les applications réussies de la technologie Blockchain dans des domaines tels que la finance, l'assurance, la santé et l'administration montrent qu'elle a un grand potentiel pour l'avenir.

L'objectif de ce travail est d'étudier les impacts de l'intégration de la technologie de la Blockchain dans la chaîne d'approvisionnement du secteur alimentaire à travers l'identification des avantages et des limites associés à l'utilisation potentielle de cette technologie.

La première partie de ce travail consiste à définir les concepts fondamentaux tels que la Blockchain et les termes qui y sont associés, ensuite dans la deuxième partie, nous explorerons les impacts et les avantages potentiels de la Blockchain sur la chaîne d'approvisionnement du secteur alimentaire, en particulier dans le domaine de l'importation des produits alimentaires à travers la réalisation de cinq entretiens directs avec des directeurs possédant une vaste expérience dans l'importation de produits alimentaires.

Mots-clés : Technologie Blockchain ; Traçabilité alimentaire ; Chaîne d'approvisionnement.

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.13370348>



1. Introduction

Aujourd'hui, les processus de la chaîne d'approvisionnement qui couvrent tous les canaux de production, d'importation et de distribution du secteur alimentaire sont devenus très complexes et difficiles à gérer. Selon la situation, le processus de la chaîne d'approvisionnement d'un produit alimentaire implique plusieurs frontières internationales, différents processus gouvernementaux et douaniers.

Toutes ces complexités nuisent aux performances de la chaîne d'approvisionnement du secteur alimentaire et augmentent les risques. Tels que les retards dans les transactions, l'augmentation des coûts, la perte de confiance entre les parties prenantes. (Christopher 2011, 159-70). La Blockchain est considérée comme une solution potentielle à certains de ces problèmes et à d'autres problèmes similaires dans la chaîne d'approvisionnement.

La Blockchain, ou technologie de la Blockchain, comme elle est communément appelée dans le monde, a suscité un grand intérêt à la fois dans le monde universitaire et dans l'industrie de la chaîne d'approvisionnement au cours des dernières années. Cet intérêt n'est pas vain. La Blockchain promet quelques solutions radicales à des problèmes qui existaient déjà traditionnellement dans la logistique et la chaîne d'approvisionnement et qui sont devenus plus complexes avec la mondialisation. Fondamentalement, la Blockchain promet quelques solutions importantes telles que la transparence et l'accessibilité des enregistrements de transactions, l'établissement de la confiance dans les transactions commerciales, une structure de sécurité qui empêche la falsification des données, des économies de coûts en éliminant les intermédiaires et la rapidité des transactions.

Cette étude a un caractère principalement exploratoire et s'appuie sur une méthode d'analyse documentaire de la technologie de la Blockchain, ainsi que sur une étude qualitative des impacts de l'implémentation de cette technologie dans le processus d'approvisionnement du secteur alimentaire, en particulier dans le domaine de l'importation des produits alimentaires. Cette analyse est menée à travers des entretiens directs avec des entreprises expérimentées dans ce domaine. Dans cette étude, les termes Blockchain et chaîne de blocs sont utilisés comme synonymes.

Dans cette étude, notre attention se porte sur l'analyse de l'impact de l'intégration de la technologie de la Blockchain sur la performance de la chaîne d'approvisionnement dans le domaine d'importation des produits alimentaires. Notre objectif principal est de répondre à cette question fondamentale : Comment la technologie Blockchain peut-elle influencer la chaîne d'approvisionnement dans le domaine d'importation du secteur alimentaire ?

Pour répondre à cette problématique, cette étude se concentrera sur les questions suivantes pour bien approfondir l'analyse.

- Quels sont les avantages potentiels de l'utilisation de la Blockchain dans la chaîne d'approvisionnement alimentaire ?
- Comment la Blockchain peut-elle améliorer la transparence, la traçabilité et la sécurité des chaînes d'approvisionnement alimentaires ?
- Quels sont les défis et les limites de l'implémentation de la Blockchain dans les chaînes d'approvisionnement alimentaires ?

Ces questions nous ont fourni un cadre pour formuler les hypothèses suivantes.

- L'intégration de la technologie Blockchain dans les chaînes d'approvisionnement alimentaires permettrait d'accroître la transparence et la traçabilité des flux de produits, ce qui pourrait se traduire par une optimisation des performances opérationnelles de l'ensemble de la chaîne.
- La mise en œuvre de la Blockchain dans les circuits d'approvisionnement agroalimentaires offrirait un potentiel de prévention des activités frauduleuses et de renforcement de la sécurité des flux, susceptible d'engendrer une diminution substantielle des coûts et des risques inhérents.
- Les difficultés et les limites pour intégrer la Blockchain dans les chaînes d'approvisionnement alimentaires pourraient être liées à la complexité technique de cette nouvelle technologie et à la résistance au changement dans l'industrie alimentaire.

Pour mener à bien notre étude, nous optons pour la méthodologie suivante : la première partie de notre démarche explorera les fondements de la technologie Blockchain, comprenant sa définition, son fonctionnement et sa classification. Dans la seconde partie, nous examinerons l'impact de la mise en place de la chaîne de blocs dans la chaîne d'approvisionnement du secteur alimentaire à travers une étude qualitative sous forme des entretiens directs avec des entreprises expérimentées dans le domaine d'importation des produits alimentaires. Au terme de cet article et en réponse à la problématique, nous projetons des perspectives de recherche futures sur ce sujet.

2. Concepts fondamentaux de la technologie Blockchain : Définition, fonctionnement, typologie et revue de littérature.

La technologie Blockchain, initialement conçue pour soutenir la cryptomonnaie Bitcoin, a considérablement évolué depuis sa création, révolutionnant les échanges numériques en offrant des transactions rapides, sécurisées et transparentes sans l'intervention d'intermédiaires traditionnels (Xu et al., 2023). Cette innovation technologique a démontré sa capacité à gérer et stocker des données de manière fiable et sécurisée, ouvrant ainsi la voie à son adoption dans divers secteurs au-delà de la finance (Choi et al., 2022).

Initialement développée comme infrastructure sous-jacente du Bitcoin, la Blockchain s'est imposée comme un système de paiement et d'échange mondial décentralisé, remettant en question le rôle des institutions financières traditionnelles (Ante et al., 2021). Son architecture distribuée permet la validation des transactions sans recourir à une autorité centrale, garantissant ainsi l'intégrité et la sécurité des données enregistrées (Zheng et al., 2021). Cette décentralisation, combinée à la transparence inhérente au système, a suscité un intérêt croissant dans de nombreux domaines.

2.1 Définition de la technologie Blockchain.

La définition largement acceptée de la Blockchain est qu'elle consiste en un grand livre numérique ouvert, partagé, décentralisé et distribué (c'est-à-dire un registre de toutes les transactions de paiement) dans lequel les transactions et les données relatives aux parties impliquées sont enregistrées et ajoutées dans l'ordre chronologique dans le but de créer des enregistrements permanents et inviolables (Nakamoto, 2008).

Don Tapscott et Alex Tapscott (2016) décrivent la technologie Blockchain comme « une base de données numérique infalsifiable qui peut être programmée pour enregistrer non seulement des transactions financières, mais aussi presque tout ce qui a de la valeur ». Pour chaque nouvel

enregistrement ajouté à la base de données de la Blockchain, le jour et l'heure de la date de la transaction sont traités. En outre, les informations nouvellement saisies sont reliées aux informations précédentes de manière séquentielle par un lien numérique. Ainsi, une chaîne d'enregistrements est formée en connectant les enregistrements toujours plus nombreux les uns aux autres, d'où le nom de Blockchain.

Récemment, Chuen et al. (2022) ont élargi cette définition en décrivant la Blockchain comme une technologie de registre distribué qui permet des transactions pair à pair sécurisées et transparentes sans intermédiaire central. Cette perspective met l'accent sur l'aspect révolutionnaire de la désintermédiation dans les échanges numériques.

De plus, Xu et al. (2021) ont souligné l'importance croissante de la Blockchain dans l'établissement de la confiance numérique, la qualifiant de "technologie de confiance distribuée". Ils mettent en avant sa capacité à créer un consensus décentralisé et à garantir l'intégrité des données dans un environnement en réseau.

Contrairement aux bases de données traditionnelles, la Blockchain n'est pas sous le contrôle d'une personne, d'une institution, d'une organisation ou d'un État (Notheisen, Cholewa et Prasad Shanmugam 2017, 425). En d'autres termes, il ne s'agit pas d'un système de base de données centralisé mais distribué.

Toutes les parties du réseau de bases de données disposent de la même copie de l'ensemble de la base de données. Tous les membres du réseau ont accès aux informations contenues dans la base de données. Il s'agit d'un système transparent et accessible. En outre, les enregistrements ajoutés à la base de données sont irréversibles, ne peuvent pas être supprimés et restent des enregistrements permanents (Dobrovnik et al. 2018, 3). Ainsi, les enregistrements ne peuvent pas être falsifiés, ce qui constitue l'une des différences les plus importantes de la technologie Blockchain par rapport aux bases de données traditionnelles. Grâce à cette caractéristique, la falsification des enregistrements, des transactions et des informations peut être évitée.

2.2 Fonctionnement de la Blockchain.

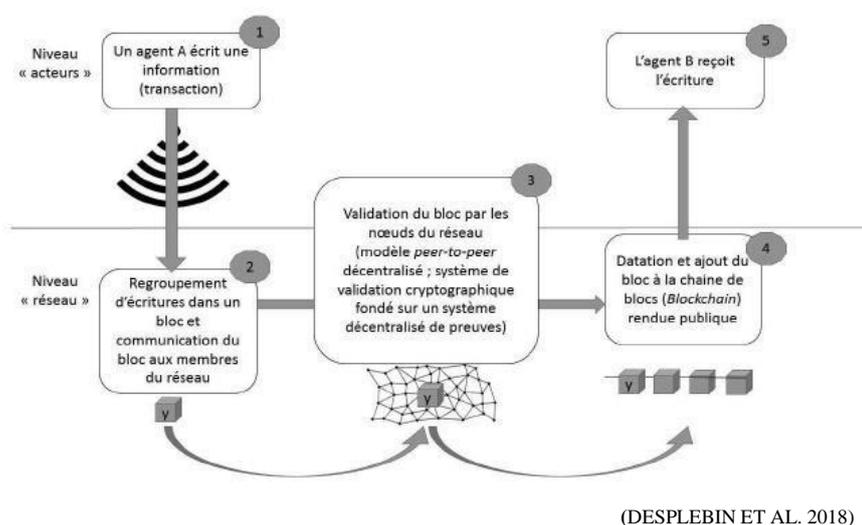
Les Blockchains sont constituées de nœuds situés sur un réseau de communication qui utilise des protocoles de communication courants. Chaque fois qu'une transaction a lieu, elle est placée dans un bloc, chaque bloc est connecté au précédent et au suivant pour former une chaîne irréversible dans laquelle les transactions sont bloquées ensemble d'où le terme Blockchain. Chaque fois qu'un nouvel enregistrement est vérifié et ajouté à la Blockchain, plusieurs copies sont créées de manière décentralisée afin de créer une chaîne de confiance (Saber, S. 2018).

La technologie Blockchain ne nécessite pas de serveur central pour stocker et conserver les données. Tant que le réseau maintient un consensus sur les transactions qui ont eu lieu dans le passé, il agit collectivement comme un serveur pour héberger les données. (Hughes, A. 2019). En tant que technologie de registre numérique distribué, la technologie Blockchain fonctionne comme une infrastructure de données distribuées "peer to peer" qui peut être utilisée pour la tenue de registres et le transfert de valeur, avec des applications potentielles dans de multiples secteurs, y compris pour la gestion de la chaîne d'approvisionnement et la logistique. Dans la chaîne d'approvisionnement alimentaire, la technologie blockchain est prometteuse pour assurer la traçabilité et la transparence des informations sur les produits en tant que facteurs de différenciation fondamentaux.

En termes de contrôle d'accès, les Blockchains peuvent être publiques ou privées. Dans une Blockchain publique, les transactions ne nécessitent aucun type d'autorisation et les utilisateurs peuvent rester anonymes. Le bitcoin est un exemple de Blockchain publique. Chaque utilisateur peut s'inscrire sans demander l'autorisation des autres membres ; le réseau dispose généralement d'un mécanisme d'incitation pour encourager les participants à rejoindre le réseau. Contrairement aux Blockchains publiques, les Blockchains privées exigent des participants qu'ils obtiennent une invitation ou un permis pour les rejoindre. L'accès est contrôlé par un consortium de membres ou par une seule organisation.

Le schéma ci-dessous (Figure N°1 : Fonctionnement de la Blockchain) résume ce mécanisme de fonctionnement.

Figure N°1 : Fonctionnement de la Blockchain



2.3 Typologie de la Blockchain.

Il existe de nombreux types de Blockchains, les plus utilisées sont :

2.3.1 Blockchain privée.

La notion de Blockchain privée suscite chez de nombreux observateurs une certaine perplexité quant à sa fidélité au concept originel de la chaîne de blocs. En effet, elle se caractérise par un accès restreint à un nombre limité d'utilisateurs, avec un code source fermé, préservant ainsi la confidentialité des informations échangées. Cette approche implique une gouvernance centralisée chargée de gérer, contrôler et valider les participants (LesEchos, 2018). Typiquement adoptée par des consortiums, cette forme de chaîne de blocs est déployée pour des échanges impliquant des données confidentielles.

Les principaux avantages de la Blockchain privée sont :

- Transactions rapides.
- Contrôle de l'infrastructure.
- Évolutivité améliorée.
- Méthode de consensus simplifiée.

2.3.2 Blockchain publique.

La notion de Blockchain publique englobe toute base de données ou réseau distribué accessible à un vaste public, rendu possible par l'utilisation d'un code source ouvert. Cette approche du libre accès au réseau public ne compromet en rien les principes fondamentaux de la Blockchain tels que la sécurité, la fiabilité et la transparence. Des exemples éminents de cette conception sont les Blockchains les plus réputées, à savoir Bitcoin et Ethereum. Dans ces cas précis, les opérations et transactions des participants sont consignées des registres publics accessibles à tous, tout en préservant l'essence même de la Blockchain : la décentralisation, la sécurité et l'immutabilité des informations échangée de fait, les caractéristiques distinctives de la Blockchain publique créent un environnement propice au développement et à la prospérité des chaînes logistiques (Wang, 2019).

Les principaux avantages de la blockchain publique sont :

- Liberté de lecture et d'écriture.
- Les données sont distribuées sur tout le réseau.
- L'immutabilité des données.
- Plus de sécurité.

Figure N°2 : Différents types de Blockchain

Type de blockchain	Nom	Lecture du registre	Réalisation d'une transaction	Validation	Exemple
Ouvverte	Blockchain publique sans permission	Ouverte à tous	N'importe qui	N'importe qui, à condition de réaliser un investissement significatif en puissance de calcul (<i>proof of work</i>) ou dans la détention de cryptomonnaie (<i>proof of stake</i>)	Bitcoin, Ethereum
	Blockchain publique permissionnée	Ouverte à tous	Participants autorisés	Tout ou partie des participants autorisés	Sovrin
Fermée	Consortium	Restreinte aux participants autorisés	Participants autorisés	Tout ou partie des participants autorisés	Banques opérant un registre partagé
	Privée permissionnée (blockchain d'entreprise)	Totalement privée ou limitée à un ensemble de nœuds autorisés	Limitée à l'opérateur du réseau	Limitée à l'opérateur du réseau	Registre interne à une banque partagé entre des filiales

Source: Global Blockchain Benchmarking study, Dr Garrick Hileman et Michel Rauchs 2017.

2.3.3 Blockchain de consortium

Au milieu des blockchains publiques et privées réside un modèle hybride connu sous le nom de blockchain consortium. Ce type de Blockchain combine des éléments des deux, offrant un code source ouvert tout en maintenant un niveau de contrôle semi-privé qui assure la confidentialité et la sécurité des données. Souvent privilégiée dans le secteur bancaire, cette approche est appréciée par les groupes et les organismes qui nécessitent une collaboration étroite tout en préservant la sécurité des échanges d'informations. Dans une Blockchain consortium, les utilisateurs sont représentés par des nœuds, et une transaction nécessite l'approbation de la majorité des participants pour être validée et acceptée, assurant ainsi un consensus fiable.

3. Caractéristiques de la technologie Blockchain.

La Blockchain présente plusieurs traits distinctifs qui lui confèrent un potentiel d'innovation significatif. Parmi eux figurent la désintermédiation, la traçabilité, la transparence, la structure distribuée, la sécurité et la confiance. Toutes ces caractéristiques définissent le caractère novateur de la technologie Blockchain. Les caractéristiques principales de la technologie blockchain sont :

-La désintermédiation : La désintermédiation, ou l'élimination des intermédiaires traditionnels, est l'un des principaux avantages de la Blockchain. En supprimant le besoin de tiers de confiance dans les transactions, la Blockchain permet des échanges directs entre les parties prenantes, réduisant ainsi les coûts et les délais. (Tapscott.D et Tapscott. 2016).

-Traçabilité : La Blockchain offre une traçabilité complète des transactions grâce à son architecture immuable. Chaque transaction est enregistrée de manière permanente sur la chaîne de blocs, ce qui permet aux participants de suivre le parcours d'un actif ou d'une transaction depuis sa création jusqu'à son utilisation finale. (Marc P. C. Schut et al 2018).

-Transparence : La transparence des transactions sur la blockchain est un aspect fondamental de cette technologie. Toutes les transactions sont enregistrées de manière permanente et sont accessibles à tous les participants du réseau, assurant ainsi un haut degré de confiance et d'intégrité. (Arvind Narayanan et al. 2016).

-Structure distribuée : La Blockchain fonctionne sur un réseau décentralisé de nœuds, ce qui signifie qu'aucune entité unique n'a le contrôle sur le système. Cette structure distribuée garantit la résilience et la disponibilité du réseau, en éliminant les points de défaillance uniques. (Andreas M. Antonopoulos.2014)

-Sécurité : La sécurité est une priorité majeure dans la conception de la Blockchain. La technologie utilise des mécanismes cryptographiques avancés pour protéger les données et les transactions contre la falsification et la fraude. (Satoshi Nakamoto.2018).

-Confiance : Le caractère de confiance dans la technologie blockchain émerge de sa transparence, son immutabilité, sa décentralisation et sa sécurité cryptographique. Ces aspects assurent que les transactions sont vérifiables, que les données sont sécurisées contre la falsification et que le contrôle est distribué entre les participants du réseau, renforçant ainsi la confiance collective dans l'intégrité du système. (William Mougayar 2016).

4. Impacts de la technologie Blockchain dans les chaînes d'approvisionnement alimentaire.

La technologie Blockchain a le potentiel de réaliser des améliorations significatives de la chaîne d'approvisionnement dans les mesures de performance critiques. Nous explorerons les divers impacts de cette technologie émergente.

4.1 Transparence, authenticité, confiance et sécurité.

Les transactions basées sur la blockchain, c'est-à-dire une série de transactions nécessaires pour acheminer un produit d'un endroit à un autre, offrent de la transparence aux entreprises participantes. Par exemple, un bloc pourrait être créé pour chaque transaction depuis la fabrication d'un produit jusqu'à sa distribution et sa vente. Ce niveau de transparence et de visibilité est essentiel pour améliorer la traçabilité des produits et garantir leur authenticité et leur légitimité. Pour un suivi en

temps réel, les blockchains pourraient être intégrées à des étiquettes GPS (Global Positioning System) et RFID (Radio Frequency Identification) (Abeyratne et Monfared, 2016). Étant donné que toutes les données enregistrées dans une blockchain sont réparties entre tous les membres du réseau, les enregistrements des transactions et des activités sont accessibles à tous les membres, contrairement à la méthode traditionnelle qui consiste à faire appel à un tiers. Chaque participant peut vérifier la progression et l'emplacement des produits et peut partager les mêmes informations au sein du système (Kim et Laskowski, 2016).

Cette meilleure visibilité fournit une trace vérifiable de l'empreinte d'un produit, ce qui est particulièrement intéressant pour les industries où la provenance d'un produit est important. Cet aspect pourrait renforcer la confiance des consommateurs dans les vendeurs (Loop, 2017 ; Olavsrud, 2016).

La transparence des blockchains est également essentielle pour instaurer la confiance dans la chaîne d'approvisionnement et pourrait révolutionner la manière dont nous comprenons et étudions la confiance dans les chaînes d'approvisionnement (Field, 2017). Auparavant, pour instaurer la confiance nécessaire entre les acteurs de la chaîne d'approvisionnement (tels que les vendeurs et les acheteurs), il fallait faire appel à des intermédiaires et à des mécanismes tels que la blockchain.

Les blockchains peuvent également jouer un rôle important dans la récupération des marchandises volées et dans la prévention des transactions frauduleuses (Loop, 2017 ; Apte et Petrovsky, 2016). L'amélioration de la sécurité est un autre facteur motivant l'adoption des blockchains dans les chaînes d'approvisionnement, car elles protègent contre la falsification, la fraude et la cybercriminalité (Lohade, 2017 ; Burnson, 2017). Pour assurer la sécurité, il faut établir à la fois la fiabilité et l'authenticité. Ces qualités prennent la forme de l'intégrité des données, l'un des principaux attributs des grands livres basés sur la blockchain (Yli-Huumo et al., 2016). Les informations stockées dans une blockchain sont immuables une fois qu'elles ont rejoint la chaîne linéaire. Cette immutabilité est due aux caractéristiques de consensus distribué de la technologie, où une seule version vraie et vérifiée des données est stockée parmi tous les membres du réseau (Kim et Laskowski, 2016). Gupta (2017) a souligné que les blockchains "autorisées" présentent une valeur particulière pour les entreprises, car elles offrent une meilleure confidentialité et l'accès aux transactions peut être déterminé par les rôles et les responsabilités des utilisateurs et une efficacité opérationnelle accrue puisque les transactions peuvent être effectuées à une vitesse plus conforme au rythme de l'entreprise.

4.2 Efficacité et réduction des coûts.

La mise en œuvre des blockchains pourrait améliorer l'efficacité de la logistique et des chaînes d'approvisionnement, car la technologie accélère le transfert des flux de données entre les parties (Bedell, 2016 ; MH&L, 2016). Par conséquent, elles pourraient réduire le temps que les produits passent dans le processus de transit et améliorer la gestion des stocks (Barnard, 2017 ; Loop, 2017).

Les contrats intelligents sont l'un des mécanismes clés pour améliorer l'efficacité de la chaîne d'approvisionnement. Les contrats intelligents sont entièrement numériques et sont rédigés à l'aide de langages de programmation. Les règles et les conséquences d'un contrat intelligent sont définies de la même manière qu'un document juridique traditionnel, énonçant les obligations, les avantages et les pénalités (Gupta, 2017). Les contrats peuvent être exécutés automatiquement par un système de blockchain, ce qui conduit à des niveaux élevés d'automatisation et à des processus de chaîne d'approvisionnement rationalisés (Barnard, 2017). Ils sont particulièrement utiles pour les accords d'externalisation multi-fournisseurs plus complexes, dans lesquels plusieurs fournisseurs sont conjointement responsables d'un résultat particulier (Overby, 2016).

La technologie blockchain permet la transmission en cascade des bons de commande, des factures, des ordres de modification, des reçus, des avis d'expédition, d'autres documents liés au commerce et des données d'inventaire dans l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement.

L'amélioration de la visibilité des données permet aux acteurs de la chaîne d'approvisionnement de comprendre en profondeur ce que veulent les consommateurs et de connaître la demande pour des produits particuliers. Ces capacités peuvent aider les organisations à planifier des prévisions de demande plus précises et à prendre de meilleures décisions (Loop, 2017).

Une chaîne d'approvisionnement alimentaire basée sur la Blockchain peut renforcer la confiance entre les acteurs de la chaîne d'approvisionnement dans la manière dont les produits sont produits, traités et distribués. Les consommateurs cherchent de plus en plus à obtenir des garanties sur les produits qu'ils achètent, au-delà de leur provenance. La Blockchain contribue à renforcer la confiance des consommateurs dans la sécurité, la qualité et l'authenticité des produits qu'ils achètent en numérisant automatiquement et en partageant facilement des audits, des certificats et d'autres enregistrements pertinents sur les pratiques durables.

5. Cadre empirique de la recherche :

Pour les besoins de la mise en œuvre opérationnelle du thème de notre recherche, nous avons adopté une approche qualitative et exploratoire dans notre recherche et nous avons mené des entretiens avec les directeurs de la logistique et approvisionnements de cinq sociétés implantées à Casablanca. Ces entretiens ont pour objectif de vérifier la validation des hypothèses de recherche et de réponse à la problématique de recherche.

- **Hypothèse 1** : L'intégration de la technologie Blockchain dans les chaînes d'approvisionnement alimentaires permettrait d'accroître la transparence et la traçabilité des flux de produits, ce qui pourrait se traduire par une optimisation des performances opérationnelles de l'ensemble de la chaîne.
- **Hypothèse 2** : La mise en œuvre de la Blockchain dans les circuits d'approvisionnement agroalimentaires offrirait un potentiel de prévention des activités frauduleuses et de renforcement de la sécurité des flux, susceptible d'engendrer une diminution substantielle des coûts et des risques inhérents.
- **Hypothèse 3** : Les difficultés et les limites pour intégrer la Blockchain dans les chaînes d'approvisionnement alimentaires pourraient être liées à la complexité technique de cette nouvelle technologie et à la résistance au changement dans l'industrie alimentaire.

Chaque entretien a fait l'objet de 7 questions posées aux responsables interviewés pour recueillir leur avis et position par rapport à la thématique abordée.

- **Question N°1** : Quels sont selon vous les principaux enjeux et défis actuels de la chaîne d'approvisionnement de votre société en matière de traçabilité, de sécurité et de performance ?
- **Question N°2** : Connaissez-vous la technologie blockchain ? Pensez-vous qu'elle pourrait apporter des bénéfices pour améliorer la chaîne d'approvisionnement de votre secteur ? Lesquels ?
- **Question N°3** : La blockchain permettrait-elle selon vous d'améliorer la transparence et la traçabilité des produits tout au long de la chaîne ? Comment ?

- **Question N°4** : Cette technologie serait-elle susceptible de réduire les risques de fraude dans votre secteur ? comment peut-elle réduire ?
- **Question N°5** : L'implémentation de la blockchain dans votre chaîne d'approvisionnement pourrait-elle conduire à des gains en termes de réduction de coûts ? Lesquels et comment ?
- **Question N°6** : Quels seraient selon vous les principaux freins ou défis à l'adoption de la blockchain par votre société ?
- **Question N°7** : Envisagez-vous le déploiement futur de la blockchain dans vos processus ? A quel horizon temporel et sous quelles conditions ?

5.1 Affectation des questions aux hypothèses par degré de concordance :

Nous détaillons ci-après le classement des questions retenues pour valider chaque hypothèse :

Hypothèse 1	L'intégration de la technologie Blockchain dans les chaînes d'approvisionnement alimentaires permettrait d'accroître la transparence et la traçabilité des flux de produits, ce qui pourrait se traduire par une optimisation des performances opérationnelles de l'ensemble de la chaîne.
Forte concordance :	Question N°3 : La blockchain permettrait-elle selon vous d'améliorer la transparence et la traçabilité des produits tout au long de la chaîne ? Comment ?
Concordance moyenne :	Question N°1 : Quels sont selon vous les principaux enjeux et défis actuels de la chaîne d'approvisionnement de votre société en matière de traçabilité, de sécurité et de performance ?
	Question N°2 : Connaissez-vous la technologie blockchain ? Pensez-vous qu'elle pourrait apporter des bénéfices pour améliorer la chaîne d'approvisionnement de votre secteur ? Lesquels ?

Hypothèse 2	La mise en œuvre de la Blockchain dans les circuits d'approvisionnement agroalimentaires offrirait un potentiel de prévention des activités frauduleuses et de renforcement de la sécurité des flux, susceptible d'engendrer une diminution substantielle des coûts et des risques inhérents.
Forte concordance :	Question N°4 : Cette technologie serait-elle susceptible de réduire les risques de fraude dans votre secteur ? comment peut-elle réduire ?
	Question N°5 : L'implémentation de la blockchain dans votre chaîne d'approvisionnement pourrait-elle conduire à des gains en termes de réduction de coûts ? Lesquels et comment ?
Concordance moyenne :	Question N°2 : Connaissez-vous la technologie blockchain ? Pensez-vous qu'elle pourrait apporter des bénéfices pour améliorer la chaîne d'approvisionnement de votre secteur ? Lesquels ?

Hypothèse 3	Les difficultés et les limites pour intégrer la Blockchain dans les chaînes d'approvisionnement alimentaires pourraient être liées à la complexité technique de cette nouvelle technologie et à la résistance au changement dans l'industrie alimentaire.
Fort concordance :	Question N°6 : Quels seraient selon vous les principaux freins ou défis à l'adoption de la blockchain par votre société/secteur (technologiques, organisationnels, humains..) ?
Concordance moyenne :	Question N°7 : Envisagez-vous le déploiement futur de la blockchain dans vos processus ? A quel horizon temporel et sous quelles conditions ?

La consolidation des réponses des entretiens et leurs rapprochements avec l'objet de chaque hypothèse d'analyse a dégagé les résultats suivants :

- Appréciation des réponses relatifs à la validation de l'hypothèse 1 :

Après analyse des réponses fournies lors des 5 entretiens avec les directeurs logistiques et d'approvisionnement, l'hypothèse 1 selon laquelle " L'intégration de la technologie Blockchain dans les chaînes d'approvisionnement alimentaires permettrait d'accroître la transparence et la traçabilité des flux de produits, ce qui pourrait se traduire par une optimisation des performances opérationnelles de l'ensemble de la chaîne." pourrait être validée.

En effet, de manière récurrente dans les entretiens, les directeurs ont exprimé qu'ils étaient convaincus que la technologie blockchain pouvait améliorer de façon significative la traçabilité et la transparence sur l'ensemble de la chaîne grâce au registre partagé et infalsifiable permettant de tracer précisément l'historique de chaque produit. Ils estiment que cela répondrait directement à leurs enjeux actuels en matière de traçabilité et de sécurité, facteurs clés de performance.

Les directeurs ont également souligné que la synchronisation en temps réel des informations sur le réseau Blockchain faciliterait la détection précoce d'éventuels problèmes et renforcerait la confiance entre partenaires commerciaux. Certains envisagent des gains opérationnels à terme via une meilleure planification et une réduction des coûts.

Ces éléments permettent de corroborer l'hypothèse selon laquelle l'amélioration de la transparence et de la traçabilité permise par la blockchain conduit effectivement à une amélioration de la performance globale de la chaîne d'approvisionnement. Néanmoins, il serait intéressant d'approfondir les analyses sur les bénéfices opérationnels et financiers exacts attendus afin de valider pleinement cette hypothèse. Un déploiement concret sur un cas d'usage permettrait également de quantifier précisément les impacts.

- Conclusion globale pour la mise en œuvre de l'hypothèse 1.

L'analyse des entretiens menés valide l'hypothèse selon laquelle la blockchain améliore la traçabilité et la transparence de la chaîne d'approvisionnement. Cela répond aux attentes des directeurs concernant la performance. Un déploiement concret est nécessaire pour quantifier précisément les bénéfices opérationnels et financiers. La technologie blockchain semble prometteuse pour faire progresser durablement l'efficacité de la logistique alimentaire.

- **Appréciation des réponses relatifs à la validation de l'hypothèse 2 :**

Après analyse des réponses aux questions directement et indirectement liées à l'hypothèse 2, il apparaît que cette hypothèse pourrait être validée. En effet, les réponses à la question 4 montrent une forte concordance chez les 5 directeurs interrogés quant à la capacité de la Blockchain à réduire significativement les risques de fraude, grâce à la traçabilité infalsifiable et au suivi en temps réel permis par la technologie.

Les mécanismes évoqués sont la rendue quasi-impossible de la substitution de produits, la détection simplifiée d'anomalies et la dissuasion apportée par la traçabilité au niveau de chaque lot. Ces éléments corroborent directement l'hypothèse d'une amélioration de la sécurité des chaînes d'approvisionnement.

De plus, les réponses à la question 5 montrent également une concordance forte quant aux gains en termes de réduction des coûts permise par la Blockchain, notamment via la diminution anticipée des fraudes, l'optimisation des contrôles qualité et la potentialité à moyen terme d'améliorations logistiques et opérationnelles.

Ces gains évoqués semblent valider l'hypothèse selon laquelle ces améliorations en sécurité et traçabilité conduiraient bien à une réduction des coûts et des risques.

Ainsi, au vu de ces réponses cohérentes, il apparaît que l'hypothèse 2 pourrait être considérée comme validée par cette étude, sous réserve de travaux complémentaires de quantification des impacts. La blockchain semble effectivement un levier prometteur sur ces enjeux clés.

- Conclusion globale pour la mise en œuvre de l'hypothèse 2.

L'analyse des entretiens montre une forte concordance quant à l'apport de la Blockchain pour sécuriser les chaînes d'approvisionnement et réduire les coûts via une meilleure traçabilité et une fraude plus difficile. Ces éléments valident l'hypothèse que la blockchain améliore la sécurité tout en diminuant les risques et coûts. Son potentiel semble avéré sur ces enjeux, moyennant une quantification plus poussée des impacts.

- **Appréciation des réponses relatifs à la validation de l'hypothèse 3 :**

Après analyse des réponses aux questions liées à l'hypothèse 3, il apparaît que celle-ci pourrait être validée. En effet, les réponses à la question 6 montrent une forte concordance quant aux principaux défis à l'adoption de la blockchain : complexité technique, investissements importants, changements organisationnels et culturels majeurs au sein des entreprises et de la filière. Ces éléments corroborent directement l'hypothèse selon laquelle les limites d'implémentation peuvent être liées à la résistance au changement et à la complexité technique. De plus, les réponses à la question 7 font état d'un déploiement prévisionnel de la Blockchain étalé sur le long terme (5 à 10 ans), par étapes successives (études, pilotes, généralisation progressive), sous réserve de levée des verrous identifiés.

Ceci confirme bien l'analyse selon laquelle la mise en œuvre nécessite du temps et une adaptation aux spécificités de chaque maillon de la chaîne.

Ainsi, au vu de la cohérence des réponses soulignant à la fois les défis et le caractère progressif requis, il apparaît que l'hypothèse 3 pourrait être validée, la blockchain devant effectivement relever d'importants défis techniques et organisationnels dans l'agroalimentaire.

- Conclusion globale pour la mise en œuvre de l'hypothèse 3.

L'analyse montre que les défis technologiques, organisationnels et humains à l'adoption de la blockchain sont avérés dans la filière agroalimentaire. Son déploiement nécessitera du temps et une approche progressive, validant l'hypothèse que les limites sont liées à la complexité et à la résistance au changement dans ce secteur.

- **Synthèse générale de l'étude empirique de la recherche.**

Cette étude basée sur la conduite de 5 entretiens avec des directeurs logistiques et d'approvisionnement avait pour objectif d'étudier la validation de 3 hypothèses liées à l'utilisation potentielle de la technologie blockchain dans la chaîne d'approvisionnement alimentaire. Concernant l'hypothèse 1, les réponses concordent globalement et semblent valider l'amélioration de la transparence et de la traçabilité permise par la blockchain, éléments reconnus comme des facteurs clés de performance. Un déploiement concret est nécessaire pour quantifier précisément les bénéfices.

Pour l'hypothèse 2, les entretiens démontrent une forte corrélation entre la sécurisation des chaînes permise par la blockchain et les gains escomptés en termes de réduction des coûts et des risques. Le potentiel semble confirmé, à condition d'évaluer de façon plus précise les impacts financiers. L'hypothèse 3 est également validée, les réponses confirmant les défis techniques, humains et organisationnels soulevés, nécessitant une approche progressive.

Bien que limitée dans son périmètre, cette étude empirique a permis de corroborer les principales hypothèses formulées. Elle ouvre des perspectives prometteuses quant aux apports possibles de la blockchain pour l'optimisation des chaînes d'approvisionnement alimentaires. Des études complémentaires plus approfondies pourraient être jugées nécessaires pour enrichir la recherche confirmer en, conséquence de manière plus opérationnelle et quantifiée l'intérêt de cette technologie dans ce secteur.

6. Conclusion

La technologie Blockchain émerge comme un catalyseur potentiellement révolutionnaire pour la transformation des chaînes d'approvisionnement du secteur alimentaire. À mesure que la sécurité alimentaire devient un enjeu mondial et que la falsification des produits alimentaires persiste, la Blockchain offre une solution prometteuse pour garantir la traçabilité, la transparence et la sécurité tout au long de la chaîne d'approvisionnement.

Ce travail a permis de mettre en lumière les implications de l'intégration de la Blockchain dans la chaîne d'approvisionnement alimentaire. Nous avons examiné en profondeur les fondements de cette technologie, son fonctionnement et ses diverses applications, mettant en évidence son potentiel à révolutionner la gestion logistique et la traçabilité des produits alimentaires.

Les avantages potentiels de l'utilisation de la Blockchain dans la chaîne d'approvisionnement alimentaire sont nombreux, allant de la réduction des risques de contamination et de fraude à l'amélioration de l'efficacité opérationnelle et de la qualité des produits. Cependant, il est également essentiel de reconnaître les défis et les limites associés à cette technologie, tels que les coûts d'implémentation, les questions de confidentialité des données et les obstacles réglementaires.

Alors que nous envisageons l'avenir de la gestion de la chaîne d'approvisionnement alimentaire, il est clair que la Blockchain a le potentiel de transformer radicalement les normes de l'industrie. Cependant, son adoption généralisée nécessitera une collaboration étroite entre les acteurs de l'industrie, des régulateurs et des innovateurs technologiques pour surmonter les obstacles et

maximiser ses avantages. En conclusion, la technologie Blockchain offre une voie prometteuse vers une chaîne d'approvisionnement alimentaire plus sûre, plus transparente et plus efficace. Alors que nous nous engageons dans cette ère de transformation numérique, il est impératif de saisir les opportunités qu'elle offre et de travailler ensemble pour façonner un avenir alimentaire plus sûr et plus durable pour tous.

REFERENCES

- [1] Andreas M. Antonopoulos.(2014), *Mastering Bitcoin: Unlocking Digital Cryptocurrencies*".
- [2] Ante, L., Steinmetz, F., & Fiedler, I. (2021). Blockchain and energy: A bibliometric analysis and review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 137, 110597.
- [3] Arvind Narayanan et al.(2016),"Bitcoin and Cryptocurrency Technologies".
- [4] Apte, S., and Petrovsky, N. 2016. Will blockchain technology revolutionize excipient supply chain management? *Journal of Excipients and Food Chemicals*.
- [5] Barnard, B. 2017 (12 April). Maersk, IBM digitalize global container supply chain.
- [6] Bedell, D. 2016 (14 October). Landmark trade deal uses blockchain technology. *Global Finance*.
- [7] Burnson, P. 2017. Blockchain coming of age. *Supply Chain Management Review* 21 (3), 10–11.
- [8] Choi, D., Chung, C. Y., Seyha, T., & Young, J. (2022). Factors affecting user satisfaction with blockchain technology. *Technological Forecasting and Social Change*, 174, 121201.
- [9] Christopher, Martin. 2011. *Logistics and Supply Chain Management*. Financial Times Prentice Hall.
- [10] Chuen, D. L. K., Deng, R. H., Duan, Y., & Li, Y. (2022). Blockchain revolution: The state of the art and vision for the future.
- [11] Dobrovnik, Mario, David Martin Herold, Elmar Wilhelm M. Fürst, ve Sebastian Kummer. 2018. "Blockchain for and in Logistics: What to Adopt and Where to Start".*Logistics* 2: 1- 18.
- [12] Don Tapscott et Alex Tapscott dans leur livre "Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin Is Changing Money, Business, and the World" (2016).
- [13] Field, A.M. 2017 (5 March). Blockchain technology touted for supply chain efficiency.
- [14] Hughes, A., Park, A., Kietzman, J. et Brown, C. (2019). Au-delà du bitcoin : ce que la blockchain et les technologies de registres distribués signifient pour les entreprises. *Business Horizons*, (62), 273-281.
- [15] Gupta, M. 2017. *Blockchain for dummies*. IBM limited edition. John Wiley & Sons.
- [16] Kim, H.M., & Laskowski, M. (2018). Toward an Ontology-Driven Blockchain Design for Supply- Chain Provenance (Vers une conception de blockchain pilotée par une ontologie pour la preuve de la chaîne d'approvisionnement). *Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management*, 25 (1), 18-27.
- [17] Kim, H.M., and Laskowski, M (2016). Towards an ontology-driven blockchain design for supply chain provenance.
- [18] Lohade, N. (2017) IBM Works to introduce Dubai businesses to blockchain.
- [19] Loop, P. 2017 (13 January). Blockchain: The next evolution of supply chains. *Industry Week*.
- [20] Marc P. C. Schut et al. examinent en détail cette caractéristique dans leur article "Blockchain Technology: Principles and Applications" publié dans *Research in Transportation Business & Management* en 2018.
- [21] MH&L. 2016. Ocean carrier deploys blockchain technology.

- [22] Nakamoto, S. (2008). Bitcoin : A Peer-to-Peer Electronic Cash System (Bitcoin : un système d'argent électronique de pair à pair).
- [23] Notheisen, Benedikt, Jacob Cholewa, ve Arun Prasad Shanmugam. 2017. "Trading Real-World Assets on Blockchain: An Application of Trust-Free Transaction Systems in theMarket for Lemons".
- [24] Overby, S. 2016 (14 October). How blockchain can benefit IT outsourcing providers. CIO.
- [25] Saberi, Sara, Mahtab Kouhizadeh, Joseph Sarkis, ve Lejia Shen. 2018. "Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management.
- [26] Satoshi Nakamoto.(2018), Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System" , où Nakamoto décrit les principes de base de la sécurité dans le contexte de la blockchain.
- [27] Tapscott, Don, ve Alex Tapscott. (2016). Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin and Other Cryptocurrencies Is Changing the World. Unabridged edition. Portfolio.
- [28] William Mougayar 2016. The Business Blockchain: Promise, Practice, and Application ofthe Next Internet Technology" (2016).
- [29] Xu, M., Chen, X., & Kou, G. (2021). A systematic review of blockchain. Financial Innovation, 5(1), 1-14.
- [30] Xu, M., Chen, X., & Kou, G. (2023). A systematic review of blockchain. Financial Innovation, 9(1), 1-44.
- [31] Zheng, Z., Xie, S., Dai, H. N., Chen, W., Chen, X., Weng, J., & Imran, M. (2021). An overview on smart contracts: Challenges, advances and platforms. Future Generation Computer Systems, 105, 475-491.
- [32] Yli-Huumo, J., Ko, D., Choi, S., Park, S. and Smolander, K. (2016). Where is current research on blockchain technology?

Annexes :

GUIDE D'ENTRETIEN

Thème de la recherche scientifique : La Blockchain et ses impacts sur la chaîne d'approvisionnement du secteur alimentaire.

- Présentation de l'objectif de l'entretien :

L'objectif de cet entretien est d'examiner et apprécier les impacts de l'intégration de la technologie de la Blockchain dans la chaîne d'approvisionnement du secteur alimentaire à travers l'identification des avantages et des limites associés à l'utilisation potentielle de cette technologie.

- Identification du responsable interviewé :

Nom et prénom du responsable interviewé :

Poste et fonction occupés :

Nom de la société :

Activité de la société :

- Questions de l'entretien :

-Question N°1 : Quels sont selon vous les principaux enjeux et défis actuels de la chaîne d'approvisionnement de votre société en matière de traçabilité, de sécurité et de performance ?

-Question N°2 : Connaissez-vous la technologie blockchain ? Pensez-vous qu'elle pourrait apporter des bénéfices pour améliorer la chaîne d'approvisionnement de votre secteur ? Lesquels ?

-Question N°3 : La blockchain permettrait-elle selon vous d'améliorer la transparence et la traçabilité des produits tout au long de la chaîne ? Comment ?

-Question N°4 : Cette technologie serait-elle susceptible de réduire les risques de contrefaçon et de fraude dans votre secteur ? comment peut-elle réduire ?

-Question N°5 : L'implémentation de la blockchain dans votre chaîne d'approvisionnement pourrait-elle conduire à des gains en termes de réduction de coûts ? Lesquels et comment ?

-Question N°6 : Quels seraient selon vous les principaux freins ou défis à l'adoption de la blockchain par votre société ?

-Question N°7 : Envisagez-vous le déploiement futur de la blockchain dans vos processus ? A quel horizon temporel et sous quelles conditions ?

Synthèse et points de vue général du responsable interviewé :

.....