

L'INTERET DE L'ADOPTION DE LA BLOCKCHAIN PAR LES  
ENTREPRISES :  
REVUE SYSTEMATIQUE DE LA LITTERATURE

Mémoire présenté par :  
Marwa GHRIBA

Pour l'obtention du Master 2 MIAGE S2I  
De l'université Paris 1 Panthéon – Sorbonne

Tutrice enseignante : Madame Irina RYCHKOVA  
Maitre d'apprentissage : Madame Laure Helene THEVENET  
Membre du jury : Monsieur Camille SALINESI  
Année Universitaire : 2021 - 2022

# REMERCIEMENTS

---

Je souhaite adresser mes remerciements à tous ceux qui ont contribué, directement ou indirectement à l'élaboration de ce mémoire.

Je souhaite en premier lieu remercier sincèrement et exprimer toute ma reconnaissance à ma tutrice enseignante Madame Irina RYCHKOV pour m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé, lors des problématiques que j'ai rencontré au sein de ce travail. Je la remercie de m'avoir accordé de son temps et partagé son expérience ainsi que ses connaissances. Je la remercie notamment pour tous les conseils qu'elle m'a donnés tout au long de l'élaboration de ce mémoire ainsi que son implication et son soutien qui m'ont été d'un aide précieux.

Je souhaite également remercier toute l'équipe pédagogique de l'université Paris 1 Panthéon Sorbonne pour l'ensemble des connaissances aussi bien techniques que générales que j'ai pu acquérir tout au long de ma formation.

Enfin, je remercie les membres de l'équipe ITG de BNP Paribas au sein duquel j'effectue mon alternance d'avoir partagé leurs connaissances et plus particulièrement ma tutrice d'alternance Madame Laure-Hélène THEVENET pour ses précieux conseils et son soutien.

# Table des matières

---

REMERCIEMENTS.....	1
Table des matières .....	2
Table des figures.....	4
Liste des tableaux.....	4
Glossaire.....	5
1. Introduction.....	6
1.1. Contexte .....	6
1.2. Définition de la problématique .....	6
2. Définition des termes clés.....	8
2.1. La Blockchain.....	8
2.1.1. Définition.....	8
2.1.2. Les types de Blockchain.....	8
2.1.3. Les mécanismes de consensus .....	10
2.2. L'architecture d'entreprise .....	12
2.3. La confiance.....	13
2.3.1. Confiance numérique (Digital trust).....	13
2.3.2. Confiance social (Social trust).....	13
2.3.3. Confiance envers la technologie (trust-towards technology).....	13
2.4. Les exigences.....	14
2.4.1. Définition des exigences.....	14
2.4.2. Syntaxe principales directives pour rédiger les exigences .....	14
2.4.3. Processus métier et gestion des processus métier .....	15
3. Protocole de recherche .....	17
3.1. Définition de la revue systématique de littérature.....	17
3.2. Définition des questions de recherches .....	17
3.3. La conduite de la recherche .....	18
3.3.1. La phase « Identification » .....	18
3.3.2. La phase « Sélection / Screening » et « Inclusion ».....	19
4. Extraction et analyse des données.....	22
4.1. Analyse quantitative.....	22
4.1.1. Classification par année.....	22
4.1.2. Classification par type de confiance :.....	23
4.1.3. Classification selon type de revue :.....	24

4.2. Analyse qualitative .....	25
5. Discussion .....	35
6. Conclusion .....	39
Bibliographie.....	41

## Table des figures

---

<i>Figure 1 : Exemple de Blockchain publique (3)</i> .....	9
<i>Figure 2 : Exemple de Blockchain privée (3)</i> .....	10
<i>Figure 3 : Exemple de syntaxe pour les exigences (9)</i> .....	15
<i>Figure 4 : Le diagramme de flux PRISMA résumant la démarche de recherche documentaire</i> .....	21
Figure 5 : Histogramme de la classification par année .....	22
Figure 6 : Histogramme de la classification par type de confiance.....	23
Figure 7 : Histogramme de la classification par type de revue .....	24

## Liste des tableaux

---

Tableau 1 : Tableau de classification des exigences.....	28
--	----

## Glossaire

---

SLR : systematic literature review ou en français Revue systématique de la littérature

P2P : Peer to Peer ou en français pair à pair

RGPD : Règlement générale sur la protection des données

# 1. Introduction

---

## 1.1. Contexte

En cette ère moderne, la barrière entre le monde physique et le monde numérique s'estompe de plus en plus vite que la numérisation est devenue signe de simplification et d'automatisation du quotidien, ce qui a conduit à une évolution majeure dans le domaine de la numérisation et une accélération exponentielle de l'internationalisation. Au fil des années, de nombreuses technologies ont vu le jour dont la blockchain qui suscite de plus en plus d'intérêt et d'engouement dans cette révolution technologique.

La blockchain a été contextualisée en 2008 par Satoshi Nakamoto, son objectif était d'établir un historique sécurisé pour échanger des données en utilisant l'horodatage pour vérifier chaque échange, ainsi que cette architecture a été conçue pour fonctionner sans autorité centrale. En fait, cette solution était la base technologique qui a provoqué la naissance des crypto-monnaies telles que le Bitcoin. De plus, la technologie Blockchain offre des réductions de coûts appréciables en permettant aux transactions d'être exécutées de manière P2P directement entre des entités ou des utilisateurs individuels. Cette exécution peut être effectuée sans nécessiter de confiance mutuelle entre chaque partie. (1)

L'introduction d'un « système de paiement électronique pair à pair » basé sur la technologie blockchain a attiré l'attention de nombreux chercheurs et organisations. Convaincus du potentiel de cette technologie, ils ont commencé à explorer sa structure complexe et à créer des cas d'utilisation métier pour montrer son éventuel impact sur l'environnement dans lequel les processus métiers collaboratifs peuvent fonctionner. En conséquence, plusieurs organisations et entrepreneurs de divers secteurs et horizons ont développé de nombreux concepts basés sur la blockchain.

Trois générations de blockchains peuvent être distinguées (2), notamment la Blockchain 1.0 qui comprend des applications permettant des transactions de crypto-monnaie numérique, la Blockchain 2.0 qui comprend des contrats intelligents et un ensemble d'applications allant au-delà des transactions de crypto-monnaie, Ethereum et Hyperledger Fabric sont les deux représentants les plus notables à ce jour de cette génération de Blockchain qui sont connus par son support du développement des applications distribuées (DApp). Enfin, La Blockchain 3.0 comprend des applications dans des domaines au-delà des deux versions précédentes c'est-à-dire en dehors des crypto-monnaies et des systèmes financiers, tels que le gouvernement, la santé, la science et l'IoT. Elle se concentre sur la réglementation et la gouvernance de la décentralisation basée sur la blockchain dans tous les aspects de la société.

L'un des principaux défis que cette technologie vise à relever est de promouvoir la confiance grâce à un partage d'informations fiable et efficace, compte tenu de ses caractéristiques telles que le fonctionnement distribué, l'authentification, l'immutabilité des enregistrements et la cryptographie.

## 1.2. Définition de la problématique

La formulation de la blockchain comme un outil pour construire ou renforcer la confiance dans un cadre organisationnel est de plus en plus traitée dans des littératures existantes, la décrivant ainsi comme un outil permettant de substituer les intermédiaires de confiance tout en respectant les exigences de l'organisme et offrant certains avantages par rapport aux tiers déjà existant.

Toutes ces caractéristiques sont bien attrayantes pour une entreprise ou une organisation, mais nous remarquons que jusqu'à présent il n'y a pas assez d'organismes qui adoptent cette technologie ce qui nous a amené à étudier l'intérêt de la Blockchain pour les entreprises et pos la question principale de cette revue à savoir :

### **Quel est le rôle de la Blockchain dans une entreprise ?**

Le mémoire sera organisé de la manière suivante. La section 2 donne une définition des éléments clés de cette revue soit la Blockchain et ses caractéristiques clés, les principes de l'ingénierie d'exigence, les types de confiances et l'architecture d'entreprise. La section 3 présente le protocole de recherche pour effectuer cette étude systématique de littérature. Enfin la section 4 présente l'extraction et l'analyse des données de cette recherche. Enfin, en section 5 nous discuterons les résultats obtenus pour finir par conclure cette revue dans la section 6.

## 2. Définition des termes clés

---

Le présent travail est une revue systématique de littérature permettant d'évaluer les résultats concernant le rôle de la Blockchain dans une entreprise.

Pour qu'une entreprise envisage d'adopter une nouvelle technologie telle que la Blockchain, une série d'exigences doit être satisfaite afin pour qu'elle lui fait confiance et l'intègre dans ses processus métier.

Dans cette section, nous décrivons brièvement tous ces termes clés, à savoir, la technologie blockchain, ses caractéristiques et ses fonctionnalités afin de fournir des connaissances fondamentales à son sujet. Ensuite, nous allons présenter l'ingénierie des exigences qui sera notre outil principal pour guider notre analyse, suivie de l'architecture de l'entreprise et ces trois niveaux principaux qui nous permettront de limiter le périmètre des exigences à extraire. Enfin, nous allons définir les trois axes de confiance principaux que nous allons traiter et discuter lors de l'analyse des exigences.

### 2.1. La Blockchain

#### 2.1.1. Définition

Une blockchain peut être définie comme un grand livre (ou registre) public distribué ou une base de données contenant les enregistrements de chaque transaction effectuée et partagée entre les participants au réseau. En raison de son architecture décentralisée, il fonctionne comme un réseau pair à pair, de sorte que les utilisateurs (les pairs) interagissent directement les uns avec les autres sans avoir besoin d'intermédiaires ou d'autorités de confiance. (3)

Les participants qui commercent entre eux passent un accord pour transférer, par exemple, des actifs physiques ou numériques. Les nœuds des autres utilisateurs du réseau vérifient ensuite la transaction selon les règles programmées du système pour s'assurer que tout est valide avant qu'elle ne soit exécutée.

La vérification est essentielle car tous les enregistrements et les transactions dans une blockchain sont immuables (inviolables). Le mécanisme de consensus du réseau est responsable du fonctionnement des vérifications pour les utilisateurs.

#### 2.1.2. Les types de Blockchain

Il existe 4 types de réseaux blockchain : les blockchains publiques, les blockchains privées et les blockchains hybrides.

- **Blockchain publique :**

Les blockchains publiques sont également appelées blockchains sans autorisation ou blockchains ouvertes qui sont ouvertes à tout le monde c'est-à-dire toute personne disposant d'une connexion Internet peut y envoyer des transactions et devenir un validateur.

Elles sont entièrement décentralisées et les transactions sont traitées par tous les nœuds de la blockchain, ainsi, ces transactions sont publiquement visibles (transparentes) dans la blockchain. Parmi les blockchains publiques les plus populaires et les plus importantes figurent le Bitcoin et l'Ethereum. (3)

La figure 1 présente la structure de haut niveau d'une blockchain publique sans permission.

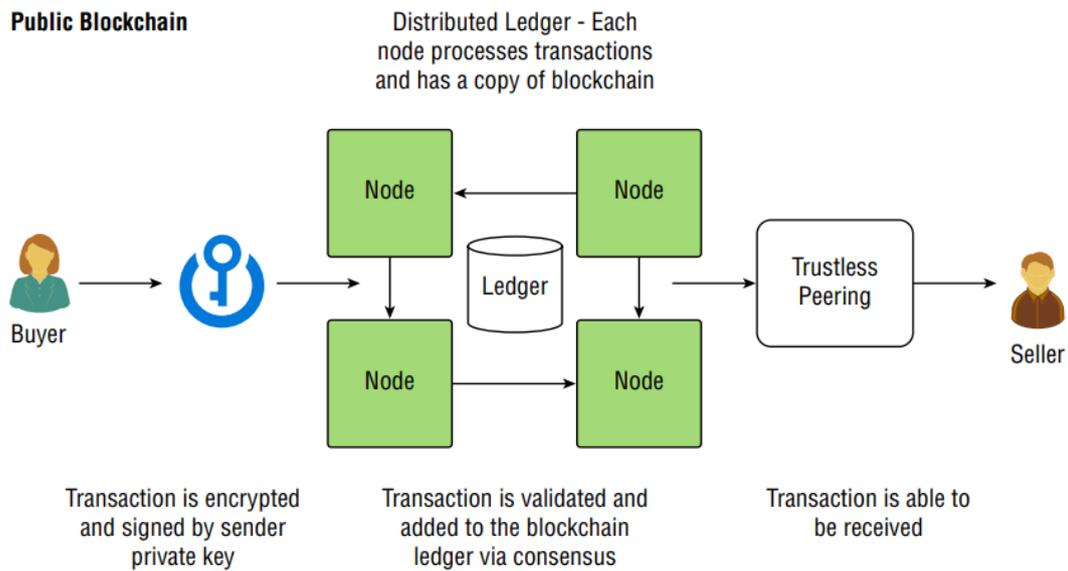


Figure 1 : Exemple de Blockchain publique (3)

- **Blockchain Privé (avec autorisation) :**

Les blockchains privées sont également appelées blockchains à autorisation ou blockchains d'entreprise. Ces blockchains privées sont un hybride d'une véritable blockchain puisqu'elles ne sont pas décentralisées mais plus centralisées. La centralisation est au cœur d'une blockchain d'entreprise puisqu'une entité ou un consortium maintient l'accès à la blockchain. L'accès au réseau de la blockchain nécessite une permission, ce qui signifie qu'une ou toutes les transactions sont permises ou autorisées à être effectuées.

Ces blockchains peuvent être des blockchains open source, de consortium ou développées par des particuliers.

La principale différence entre une blockchain publique et privée est le niveau d'accès. Les blockchains privées maintiennent un réseau fermé auquel seules les entités autorisées peuvent participer. Elle est également appelée "blockchain à autorisation" car elle accorde des droits et des restrictions spécifiques aux participants d'un réseau et elles sont plus centralisées puisque le contrôle des transactions est traité par certains nœuds de la blockchain (contrairement à la Blockchain publique). Ce type de Blockchain est précieux pour les entreprises qui souhaitent collaborer et partager des données, mais qui ne veulent pas afficher leurs données commerciales sensibles en public. Parmi les exemples de blockchains privées, citons Hyperledger, R3 Corda et Quorum.

La figure 2 présente la structure de haut niveau d'une blockchain privée

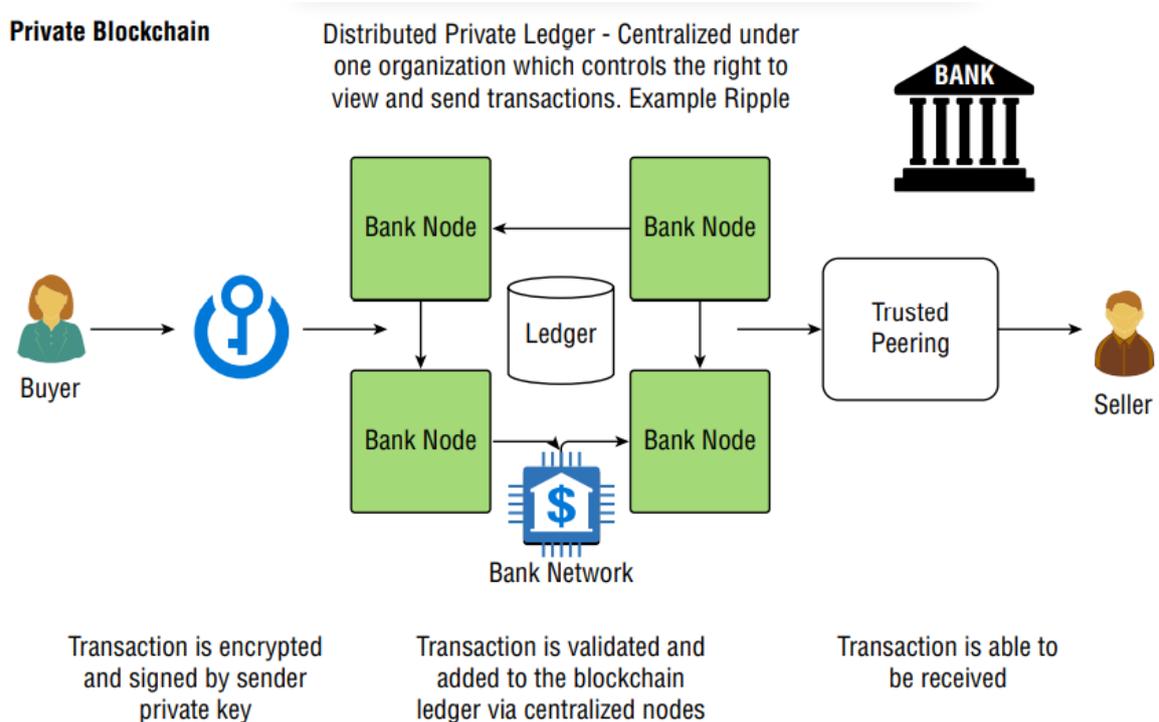


Figure 2 : Exemple de Blockchain privée (3)

- **Blockchain Hybride :**

Une blockchain hybride est une blockchain qui contient les caractéristiques et les fonctions d'une blockchain privée avec autorisation et d'une blockchain sans autorisation. Elle permet aux utilisateurs des API de la blockchain de déterminer quelles informations restent privées et quelles informations sont rendues publiques. De façon générale, cette approche est utile pour les entreprises qui ont besoin de flexibilité pour déterminer les données qui restent publiques et celles qui restent privées. (3)

- **Blockchain consortium :**

Elles se distinguent des blockchains privées en ce que le contrôle n'est pas accordé à une seule entité, mais à un groupe de personnes agréées.

Ces types de blockchains peuvent également être décrits comme étant semi-décentralisés. Les blockchains de consortium sont souvent associées à l'utilisation par les entreprises, un groupe d'entreprises collaborant pour tirer parti de la technologie blockchain afin d'améliorer leurs processus métiers. (4)

### 2.1.3. Les mécanismes de consensus

Les protocoles de consensus de la blockchain garantissent que les nœuds du réseau sont synchronisés les uns avec les autres. Le consensus signifie que les nœuds du réseau blockchain sont d'accord sur le même état pour l'auto-vérification à travers un réseau distribué. L'objectif principal du protocole de consensus est d'assurer qu'une seule chaîne est utilisée et suivie, et c'est l'un des aspects révolutionnaires importants de la technologie blockchain. Les protocoles de consensus fournissent des récompenses et des incitations aux participants qui maintiennent la blockchain. Les récompenses dans

la blockchain sont sous forme de jetons ou de crypto-monnaies, et la compétition pour confirmer le prochain bloc de la chaîne est extrêmement difficile. L'historique complet des transactions est conservé dans les monnaies numériques afin de vérifier le solde de l'utilisateur à tout moment.

Les protocoles de consensus permettent à un réseau décentralisé de parvenir à un accord sur l'état du réseau. Dans un système centralisé ou une organisation fédérale, toutes les décisions sont prises par un seul dirigeant élu ou un conseil d'administration. En revanche, dans un réseau décentralisé, il n'y a pas de chef qui puisse prendre une décision de manière indépendante ; au lieu de cela, un groupe de systèmes/nœuds est impliqué dans le processus de prise de décision. Ce processus soutient une décision, soumise à l'intérêt de toutes les personnes impliquées dans le processus de prise de décision, appelé consensus.

L'obtention d'un consensus est une acceptation par les nœuds du réseau d'une valeur de données, même si certains nœuds ne sont pas fiables. Le consensus garantit un ensemble correct d'opérations en présence d'individus défaillants dans un environnement distribué. Les propriétés de fiabilité et de tolérance aux pannes du réseau sont déterminées par les mécanismes de consensus. Tous les nœuds participants conviennent d'un protocole commun de mise à jour du contenu de leur grand livre public afin de maintenir un état cohérent. C'est ce qu'on appelle le mécanisme de consensus. Lorsque le consensus est atteint entre les nœuds, les blocs sont créés et ajoutés au grand livre existant pour une utilisation ultérieure. (5)

- **Preuve de travail (PoW)**

La preuve de travail est l'un des algorithmes de consensus originaux utilisés dans une blockchain. Le consensus de Nakamoto peut être défini comme une approche probabiliste, qui est non déterministe par nature. Dans ce modèle, il n'est pas nécessaire que tous les nœuds soient d'accord sur la même valeur, mais plutôt sur la probabilité que la valeur soit correcte. Cet algorithme est utilisé pour confirmer les transactions et produire de nouveaux blocs pour la chaîne. Avec le PoW, les mineurs sont en concurrence les uns avec les autres pour effectuer des transactions sur le réseau et être récompensés.

- **Preuve d'enjeu (PoS)**

Un nouvel algorithme de consensus a été conçu pour surmonter l'utilisation élevée d'énergie dans le protocole PoW afin de garantir que l'activité minière est menée de manière plus cultivée sans gaspiller d'énergie ou de puissance de calcul. Un groupe de validateurs donnera un montant spécifique comme dépôt de garantie pour participer au processus de génération de blocs. Ils achèteront des cryptocurrencies au lieu d'investir dans l'achat d'équipements pour une activité de calcul rigoureuse. Chaque personne qui souhaite participer à la course au minage de blocs déposera quelques crypto-monnaies comme enjeu dans le réseau. Plus l'enjeu est élevé, plus la possibilité pour le nœud de devenir un valideur est élevée.

En se basant sur un processus aléatoire, la Fondation Blockchain sélectionne le validateur pour générer un bloc. Le validateur qui génère un bloc valide recevra des incitations pour son travail. Si le bloc généré n'est pas inclus dans la chaîne, alors le validateur sera pénalisé et perdra sa mise. Dans le mécanisme PoW, la pénalité pour les nœuds qui génèrent un bloc invalide est seulement en termes de puissance de calcul et de ressources gaspillées, alors que dans le PoS, les nœuds perdent leur mise si des blocs invalides sont générés ou si un comportement frauduleux est exhibé. Si tous les nœuds corrects ou honnêtes du réseau suivent le protocole et possèdent plus de 50 % des parts du réseau, la possibilité qu'un bloc déjà généré soit révoqué du réseau diminue de façon exponentielle révoqué du réseau diminue de façon exponentielle.

- **Tolérance pratique aux pannes byzantines (PBFT)**

Le modèle PBFT est un algorithme de tolérance aux fautes principalement axé sur la réplication pratique de la machine à états, qui permet de surmonter les défaillances byzantines avec des défaillances de nœuds indépendants (nœuds malhonnêtes) qui propagent des messages incorrects ou défectueux. Cet algorithme fonctionne sur des systèmes asynchrones avec une performance globale optimisée et une très faible augmentation de la latence. Le système est modélisé avec un nœud supposé être le leader et tous les autres nœuds considérés comme des sauvegardes. Tous les nœuds présents dans le système communiquent entre eux et la conception est susceptible d'amener tous les nœuds honnêtes à un accord par une majorité. Il y a une légère surcharge dans la communication des messages puisque chaque message doit prouver son origine et vérifier qu'il n'y a pas eu d'altération des messages pendant la transmission.

Outre les protocoles susmentionnés, d'autres protocoles sont également disponibles, notamment les graphes acycliques dirigés (DAG), la preuve d'activité (PoA), la preuve d'importance (PoI), la preuve de capacité (PoC), la preuve de combustion (PoB), la preuve de poids (PoWeight), etc.

## 2.2. L'architecture d'entreprise

L'architecture d'entreprise est la définition et la représentation d'une vue de haut niveau des processus métier et des systèmes informatiques d'une entreprise, de leurs interrelations et de la mesure dans laquelle ces processus et systèmes sont partagés par différentes parties de l'entreprise. L'objectif principal de l'évaluation environnementale est de définir l'état futur souhaitable des processus d'affaires et des systèmes informatiques de l'organisation (souvent appelé architecture cible) et de fournir une feuille de route pour atteindre cet objectif à partir de l'état actuel (architecture de base).

En tant que rôle organisationnel, l'EA se situe entre la formulation de la stratégie informatique et commerciale, d'une part, et l'architecture de solutions axée sur les projets (parfois appelée architecture de systèmes), d'autre part. La tâche de l'EA consiste à traduire les principes, capacités et objectifs généraux définis dans les stratégies en systèmes et processus qui permettent à l'entreprise d'atteindre ces objectifs. (3)

L'architecture d'entreprise peut être présentée sous trois niveaux majeurs :

- Le niveau stratégique : Définit une entreprise d'un point de vue commercial, ce qui inclut sa vision et ses missions nécessaires pour guider ses opérations stratégiques et quotidiennes. Ce niveau peut représenter les stratégies de l'entreprise, ses mesures de performance, ses processus et ses activités.
- Le niveau opérationnel : Regroupe la couche application et la couche des données. La couche application qui décrit les applications utilisées dans l'entreprise c'est-à-dire le plan détaillé du système d'application à déployer, y compris ses caractéristiques, leurs relations et leurs interactions avec les processus métiers et les utilisateurs. Il se concentre généralement sur les contraintes critiques concernant le système et son intégration. Ainsi pour la couche des données, décrit la structure des actifs de données logiques et physiques d'une organisation et des ressources de gestion des données.
- Le niveau technique : Offre des services d'infrastructure (par exemple, des services de traitement, de stockage et de communication) et des composants technologiques (par exemple, les serveurs, les réseaux, les intergiciels et les outils d'assistance aux utilisateurs).

Ainsi ce niveau permet de soutenir les besoins de l'organisation, de la planification stratégique jusqu'aux étapes de mise en œuvre.

Chaque niveau de l'architecture de l'entreprise est un modèle et une représentation d'un système qui répond aux préoccupations des parties prenantes selon leur perspective.

## 2.3. La confiance

La confiance joue un rôle important dans notre vie quotidienne et dans de nombreuses situations liées aux systèmes d'information. Elle est utilisée comme une mesure des relations entre des personnes ou des organisations (la confiance sociale), dans le monde numérique (la confiance numérique) et vers la technologie (la confiance vers la technologie).

### 2.3.1. Confiance numérique (Digital trust)

La confiance numérique peut être définie comme le niveau de confiance que les entités ont dans la capacité des acteurs, des technologies ou des processus à soutenir les interactions numériques en recouvrant un ensemble des exigences pour établir des réseaux commerciaux fiables et sécurisés. (6)

Pour la technologie, le niveau de confiance numérique sera mesuré en termes d'appareils électroniques, de systèmes matériels et logiciels, et de systèmes d'information utilisés.

Pour le processus, le niveau de confiance numérique sera déterminé en fonction des opérations des systèmes d'information, des pratiques de confidentialité et de protection des données, et de l'utilisation de l'internet et des médias sociaux.

En ce qui concerne les acteurs, le niveau de confiance numérique sera mesuré en fonction de la direction et des autres entités internes de l'organisation, du support informatique et des données, ainsi que des entités externes qui ont un rapport direct avec le fonctionnement de l'organisation.

### 2.3.2. Confiance social (Social trust)

En sciences sociales, la confiance est décrite par une situation dans laquelle un être humain (trustor) est prêt à s'appuyer sur les actions choisies d'un autre être humain (trustee), en s'attendant à ce que le trustee se comporte comme il le souhaite (7). Ainsi, pour dire que quelqu'un est digne de confiance, il doit avoir la capacité nécessaire d'accomplir une action qui nous est bénéfique ou du moins pas préjudiciable pour que nous envisageons de nous engager dans une forme de coopération avec lui.

La confiance sociale représente la foi dans une ou plusieurs personnes (personne publique, association, communauté etc.). Elle naît lorsque les deux parties partagent un ensemble de valeurs morales de manière à créer des attentes de comportement régulières et honnêtes. Cependant, son concept va au-delà de la « confiance interpersonnelle », qui fait référence à la confiance entre les individus mais aussi envers les institutions et les organisations « confiance institutionnelle ».

### 2.3.3. Confiance envers la technologie (trust-towards technology)

La confiance dans la technologie fait référence aux individus qui dépendent ou sont prêts à dépendre de la technologie pour accomplir une tâche spécifique.

Pour qu'un utilisateur considère une technologie digne de confiance il faut qu'elle reflète ses croyances que celle-ci possède les attributs nécessaires pour fonctionner comme prévu dans une situation donnée dans laquelle des conséquences négatives sont possibles. (8)

Ces croyances peuvent être cultivées en interagissant avec la technologie dans différents contextes en recueillant des données sur ses caractéristiques telles que sa fonctionnalité qui consiste à savoir si elle a la capacité ou la possibilité d'accomplir une tâche requise de façon adéquate et adaptée, et de sa fiabilité qui suggère si elle fonctionne de manière cohérente et prévisible.

## 2.4. Les exigences

### 2.4.1. Définition des exigences

Une exigence est, dans le domaine d'ingénierie d'exigences définie comme la déclaration qui identifie une caractéristique ou une contrainte opérationnelle, fonctionnelle ou de conception du produit ou du processus, qui est sans ambiguïté, testable ou mesurable, et nécessaire pour que le produit ou le processus peut être accepté par les consommateurs ou les directives internes d'assurance qualité. (9)

L'ingénierie des exigences représente une fonction interdisciplinaire qui sert d'intermédiaire entre les domaines de l'acquéreur et du fournisseur afin d'établir et de maintenir les exigences définies au-dessus. Elle concerne la découverte, l'acquisition, le développement, l'analyse, l'identification des méthodes de vérification, la validation, la communication, la documentation et la gestion des exigences.

Le résultat de cette dernière est une hiérarchie d'exigences qui :

- Permet une compréhension convenue entre les parties prenantes (par exemple, les acquéreurs, les utilisateurs, les clients, les opérateurs, les fournisseurs) ;
- Est validée par rapport aux besoins du monde réel ; peut être mise en œuvre ;
- Fournit une base pour vérifier les conceptions et accepter les solutions.

Les exigences peuvent être représentées sous forme de diagrammes, d'arborescences ou de documents textuels (spécifications - incluant ou non des schémas, des diagrammes), pour notre mémoire nous nous intéressons principalement aux exigences représentées sous forme textuelle, soit en texte brut, soit sous forme de tableaux de données ou de valeurs numériques.

### 2.4.2. Syntaxe principales directives pour rédiger les exigences

Cependant, les exigences reflètent les besoins des parties prenantes qui doivent être bien formulés, clairs et compréhensibles. Ainsi elles peuvent être rédigées sous la forme d'un langage naturel ou d'une autre forme de langage écrites.

Si l'énoncé d'une exigence est exprimé sous la forme d'un langage naturel, il doit comprendre un sujet (par exemple, le système, le logiciel, etc.) et un verbe, ainsi que d'autres éléments nécessaires à l'expression adéquate du contenu informationnel de l'exigence (par exemple, fonctionner à un niveau de puissance, fournir un champ pour).

La figure ci-dessous présente un exemple de syntaxe pour les exigences.

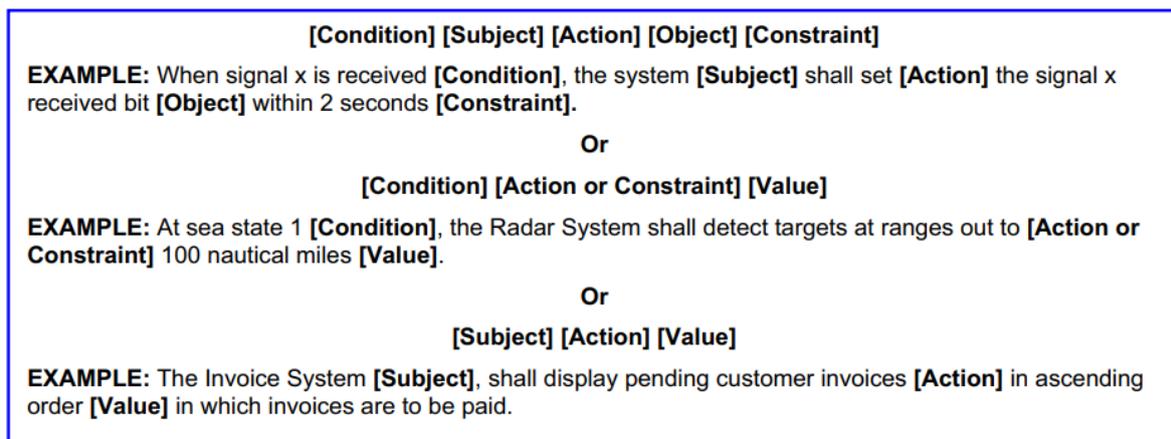


Figure 3 : Exemple de syntaxe pour les exigences (9)

La manière d'exprimer les exigences est très importante, notamment par l'utilisation des verbes et de formes verbales, des mots-clés et des termes spécifiques qui signalent la présence d'une exigence.

Les principales directives relatives à la rédaction des exigences sont spécifiées par l'ISO/IEC comme suit :

- Les exigences sont des dispositions obligatoires et contraignantes, et utilisent le terme "doit".
- Les déclarations de fait, les déclarations d'avenir ou les déclarations d'intention sont des dispositions non obligatoires et non contraignantes. Cependant ils peuvent être interprété comme juridiquement contraignant, il est donc préférable d'éviter de l'utiliser pour les exigences.
- Les préférences ou les objectifs sont des dispositions souhaitées, non obligatoires et non contraignantes, et il convient d'utiliser "devrait".
- Les suggestions ou les tolérances sont des dispositions non obligatoires et non contraignantes et sont exprimées en termes de "peuvent".
- Les textes non obligatoires, tels que les textes descriptifs, utilisent des verbes tels que "est". Il est préférable d'éviter d'utiliser le terme "doit", car il pourrait être interprété comme une exigence.
- Utiliser des déclarations positives et éviter les exigences négatives telles que "ne doit pas".
- Utiliser la voix active : éviter d'utiliser la voix passive, comme "doit être capable de sélectionner".

Une fois que les exigences ont été formées et identifiées, elles doivent être vérifiées. Cela signifie qu'une exigence ou un ensemble d'exigences a été examiné pour s'assurer et confirmer que les caractéristiques de bonnes exigences sont atteintes.

### 2.4.3. Processus métier et gestion des processus métier

Un processus métier est un ensemble d'activités professionnelles mises en commun dans le but de créer une valeur ajoutée pour un client ou un marché spécifique.

Il peut également être défini comme (10):

- Un ensemble fermé d'activités prises en réponse à un événement donné, dans le but de générer un résultat ;
- Tout ce qui est nécessaire pour garantir que la personne intéressée par un processus métier obtienne le résultat attendu ;

Les éléments de base d'un processus métier sont les suivants : l'objectif, les ressources disponibles, les activités, les indicateurs, l'accent mis sur l'acheteur et les détenteurs du processus.

La gestion des processus métier s'effectue par le biais des activités suivantes : la formation des processus métier, leur exécution et la mesure de leur succès.

L'objectif de la gestion des processus métier est l'amélioration continue des processus métier sur la base de la mesure des résultats de la performance des processus métier existants. Des processus métier bien définis accélèrent le travail, augmentent l'ordre interne, réduisent les dépenses, favorisent l'amélioration de la qualité des produits/services ainsi que des activités et des compétences organisationnelles générales.

## 3. Protocole de recherche

---

### 3.1. Définition de la revue systématique de littérature

Une revue de la littérature est un résumé complet des recherches antérieures sur un sujet qui a pour but d'examiner les articles scientifiques, les livres et d'autres sources pertinentes pour un domaine de recherche particulier.

La méthode de recherche choisie pour le présent article est une revue littéraire systématique (SLR). En effet, la revue littéraire systématique (SLR) est un moyen d'identifier, d'évaluer et d'interpréter toutes les recherches disponibles concernant une question de recherche particulière, un domaine ou un phénomène d'intérêt. Les études individuelles contribuant à une revue systématique sont appelées études primaires. Une revue systématique est une forme d'étude secondaire. (11)

Le choix du SLR s'explique par le fait que cet article se converge sur l'analyse des recherches antérieures liées à notre problématique dans le but de mener à bien un examen des articles scientifiques et d'autres sources pertinentes, notamment se procéder à la collecte, l'évaluation objective et enfin la synthèse des informations et des données extraites de ces études primaires de manière à ce qu'elles répondent à nos questions des recherches. De plus, cette synthèse sera complétée par des analyses quantitatives et également qualitatives de ces résultats des études primaires.

L'un des aspects les plus importants possibles de toute revue systématique est d'assurer sa reproductibilité et, à cette fin, il est nécessaire de définir et de planifier son processus de revue.

Dans ce contexte, le processus appliqué pour cet SLR suit les lignes directrices proposées par Kitchenham & Charters (11), qui ont défini trois phases principales pour la réalisation de l'étude :

- La première phase est la planification qui consiste à décrire la motivation de l'étude, à définir les questions de recherche et à élaborer le protocole de recherche.  
L'étape de planification présente également des critères d'exclusion et d'inclusion qui sont utilisés pour localiser les études primaires les plus pertinentes.
- La deuxième phase est la conduite de la recherche qui comprend l'identification des articles pertinents, sélection primaire des études, l'évaluation de leur qualité, ainsi que l'extraction et la synthèse des données nécessaires.
- La troisième phase est le rapport qui consiste à rapporter les résultats de manière formatée et évaluée. Cette section détaille la première phase du SLR.

### 3.2. Définition des questions de recherches

L'objectif de cette SLR est d'acquérir des connaissances sur la technologie de Blockchain et son rôle dans une organisation, en particulier, sur les dernières solutions et approches évoquées par la communauté scientifique pour qu'une entreprise envisage d'adopter la blockchain et de l'intégrer dans leur processus métiers.

Afin d'identifier les études primaires les plus pertinentes et d'avoir des résultats plus spécifiques, notre question de recherche principale sera décomposée en trois sous-questions.

Les sous questions nous permettent d'une part d'avoir une idée de la façon dont nous allons devoir aborder notre recherche et structurer notre mémoire, et d'autre part, d'avoir une recherche plus précise pour mieux analyser les résultats des études.

Le but de la première sous question est de dégager les besoins ou les exigences de l'entreprise et voir ce que la communauté des chercheurs a déjà identifié et répertorié. QR est formulé comme suit :

QR1. La communauté des chercheurs identifie-t-elle les exigences liées à la confiance pour les organisations ?

QR1.1. Quel type de confiance ?

QR1.2. Les exigences sont sur quel niveau de l'architecture d'entreprise ?

QR1.3. Les exigences sont citées explicitement ou implicitement par les chercheurs ?

Ensuite, la deuxième sous question permet d'analyser les exigences et les classer selon les 3 niveaux de l'architecture de l'entreprise. Soit :

QR2. Quels sont les critères/exigences de confiance pour le niveau stratégique, opérationnel et technique ?

Et enfin, la dernière sous question permet de voir ce que peut apporter précisément la blockchain au besoin de l'entreprise :

QR3. Comment la technologie blockchain peut-elle satisfaire ces exigences ?

Après avoir défini nos questions de recherche qui vont nous aider à mener une recherche plus précise pour mieux analyser les résultats des études pertinentes, nous allons par la suite évoquer la démarche de notre stratégie de recherche.

### 3.3. La conduite de la recherche

Afin de trouver des études scientifiques pertinentes traitant les questions de recherches identifiées dans la section précédente, il est nécessaire d'élaborer une stratégie de recherche pour s'assurer que les études sont complètes, approfondies et impartiales.

Ainsi, nous avons choisi de suivre la méthode de recherche PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). En effet, cette méthode fournit des directives et un cadre utile à suivre qui permettent d'améliorer la fiabilité et la pertinence des revues de littérature. La stratégie de recherche dans la méthode PRISMA est représentée sous forme d'un diagramme de flux que nous avons adopté pour illustrer et décrire notre processus de sélection des études primaires. D'après la dernière mise à jour de la déclaration PRISMA 2020 qui a remplacé la déclaration 2009, ce diagramme comporte 3 phases : Identification, Sélection (Screening) et Inclusion.

#### 3.3.1. La phase « Identification »

La première étape de cette phase étant d'effectuer notre recherche automatique en combinant des mots clés pour construire des expressions de recherche. Ces mots clés sont issues de nos questions de

recherche tels que « Business Process », « Trust », « architecture », « information system », « requirement », etc..., mais aussi en prenant en considération la définition des termes synonymes ou alternatifs à ces mots clés comme « BP », « Business ecosystem » pour « Business Process ».

Pour ce faire, nous avons eu recours aux opérateurs booléen pour combiner les termes de recherches identifiés et rassortir des chaînes de recherches permettant d'affiner et de produire davantage de résultats pertinents. Par conséquent, nous avons obtenu les chaînes de recherches suivantes :

**CR1:** (("trust") OR TITLE("trustworthiness") OR ("trusted")) AND

**CR2:** (("architecture") OR ("management") OR ("design") OR ("modeling") OR ("modelling")) AND

**CR3:** (("information system") OR ("enterprise system") OR ("socio-technical system") OR ("business ecosystem") OR ("business process") OR ("BP") OR ("Business process system ")) AND

**CR4:** (("patterns") OR ("requirement") OR ("model"))

Nous avons ensuite passé à l'étape de la recherche automatique grâce aux chaînes de recherches définies précédemment. Nous avons exploité comme moteur de recherche " Miage Scholar" qui est une application en ligne développée par Mr Nicolas Herbaut doctorant et enseignant à notre université "Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne" permettant de faire des recherches des études et de collecter des références similaires provenant de plusieurs moteurs de recherche scientifique connues tels que Google Scholar.

Cet outil nous a été fortement utile afin d'optimiser le temps de recherche et d'affiner les résultats obtenus et dans certains cas une source d'inspiration pour enrichir encore plus notre collection d'articles avec la fonction snowball.

- Après avoir effectué notre recherche automatique, nous avons obtenu un nombre important d'études donc nous avons serré la liste en gardant uniquement les études datant au plus tard de l'année 2017 ainsi pour de garantir un résultat de recherche d'actualité ;

### 3.3.2. La phase « Sélection / Screening » et « Inclusion »

Après avoir achevé la recherche primaire, il est nécessaire de bien sélectionner les études les plus appropriées et éliminer celles qui ne sont pas pertinentes de la liste obtenue lors de la première phase. Pour parvenir à ce résultat, nous avons mis en place un processus qui s'appuie sur des critères de sélection des études qui comprennent à la fois des critères d'inclusion et d'exclusion qui sont basés principalement sur nos questions de recherche. Ce processus est exécuté en plusieurs étapes :

**Etape 1 :** Appliquer les critères d'inclusion et d'exclusion basés sur des questions pratiques telles que la langue, les auteurs, le plan de recherche, et le type de revue.

En revanche, nous avons inclus :

- Les articles de recherche ou conférence et sont accessibles en ligne ;
- Les études en anglais ;

Outre que les critères d'inclusion cités ci-dessus, nous avons appliqué les critères d'exclusion suivantes :

- Les revues de la littérature ;
- Blog et Magazine ;

- Les articles sans abstract ou partiellement disponibles ;
- La Blockchain est une nouvelle technologie qui est adoptée récemment, donc, il est plus pertinent de ne pas prendre en compte les publications antérieures à 2017

**Etape 2 :** Nous avons passé dans cette étape à l'étude de chaque article issu de la première étape, c'est à dire établir une recherche manuelle.

Tout d'abord, nous avons exploré en largeur avec un niveau de détails faible le contenu des articles en lisant juste les titres, les mots-clés, les abstracts et parfois les conclusions et gardant ceux qui sont conformes aux critères définis.

Par la suite, nous avons approfondi la lecture pour écarter les articles qui ne sont pas éligible à notre SLR, ainsi nous avons exclu ceux qui parlent sur la blockchain sans évoquer son adoption dans un processus métier ou les articles avec un contexte théorique.

**Etape 3 :** Afin d'étendre notre liste d'étude nous avons effectué dans cette étape la méthode « Snowballing ». Cette méthode consiste à identifier les différentes références que les auteurs ont utilisées dans leurs articles. En effet, grâce aux liens de citations que maintient l'application Miage Scholar nous avons distingué d'autres études où certains articles sélectionnés se sont référés.

Le diagramme de flux PRISMA ci-dessous résume la démarche de recherche documentaire avec le nombre des articles sélectionnés à chaque étape.

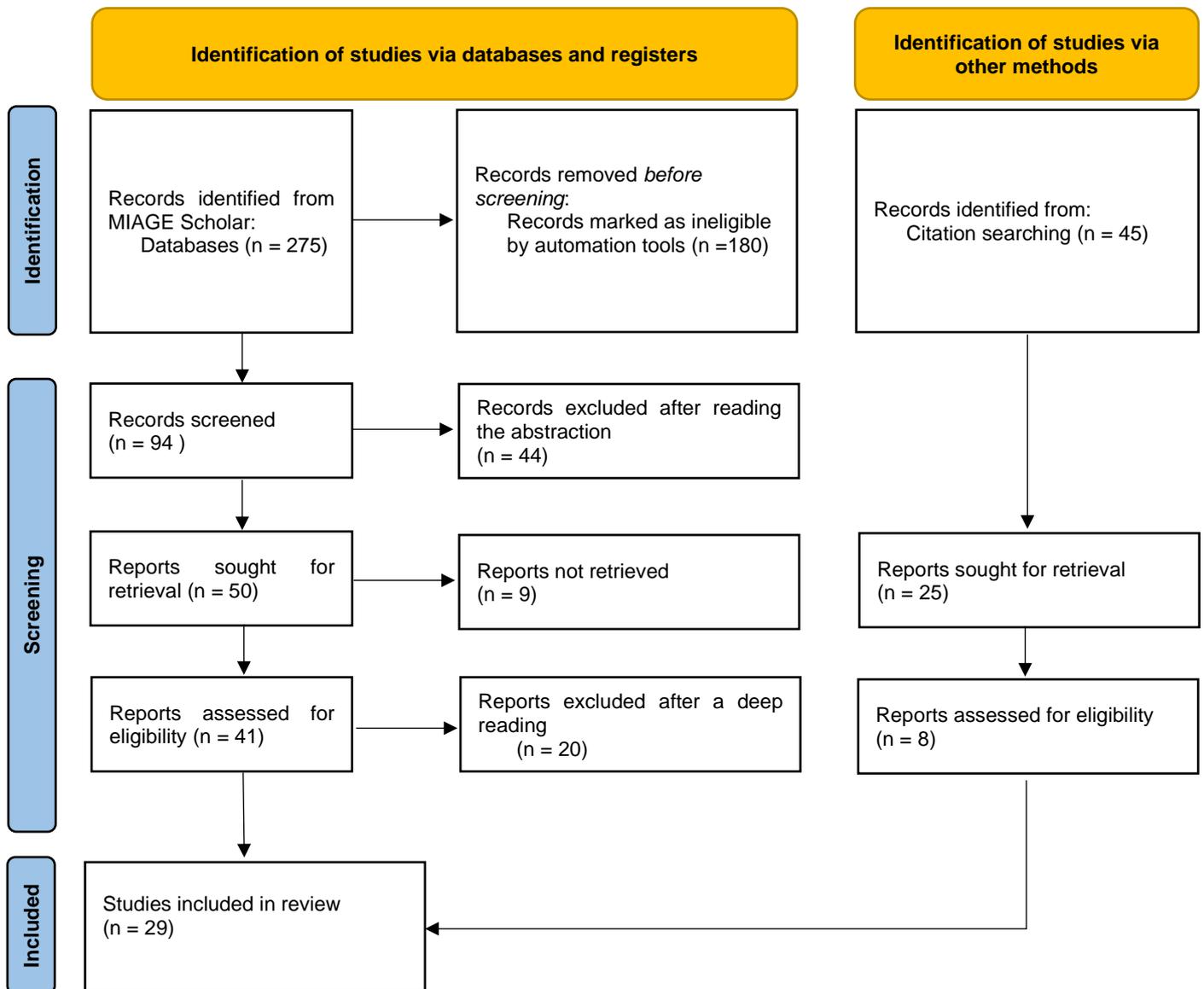


Figure 4 : Le diagramme de flux PRISMA résumant la démarche de recherche documentaire

Ainsi, suite au protocole de recherche que nous avons effectué, 29 études répondaient à ces critères et ont été conservées pour élaborer notre analyse finale.

## 4. Extraction et analyse des données

Après avoir collecté toutes les données pertinentes, et passé par le processus de sélection dans le cadre d'une revue systématique de la littérature, nous procédons ensuite à l'analyse de la littérature afin d'être en mesure de présenter les résultats.

### 4.1. Analyse quantitative

Cette étape de classification de données consiste à réaliser une analyse statistique sur tous les articles de notre étude afin d'avoir une vue d'ensemble ainsi que d'identifier les lacunes et le manque de recherche pour enfin tirer des conclusions qui peuvent nous aider à répondre aux questions de recherche.

Ainsi, nous allons d'abord classer les données selon l'année de publication des articles, le type de confiance sur lequel puis selon le type de revue.

#### 4.1.1. Classification par année

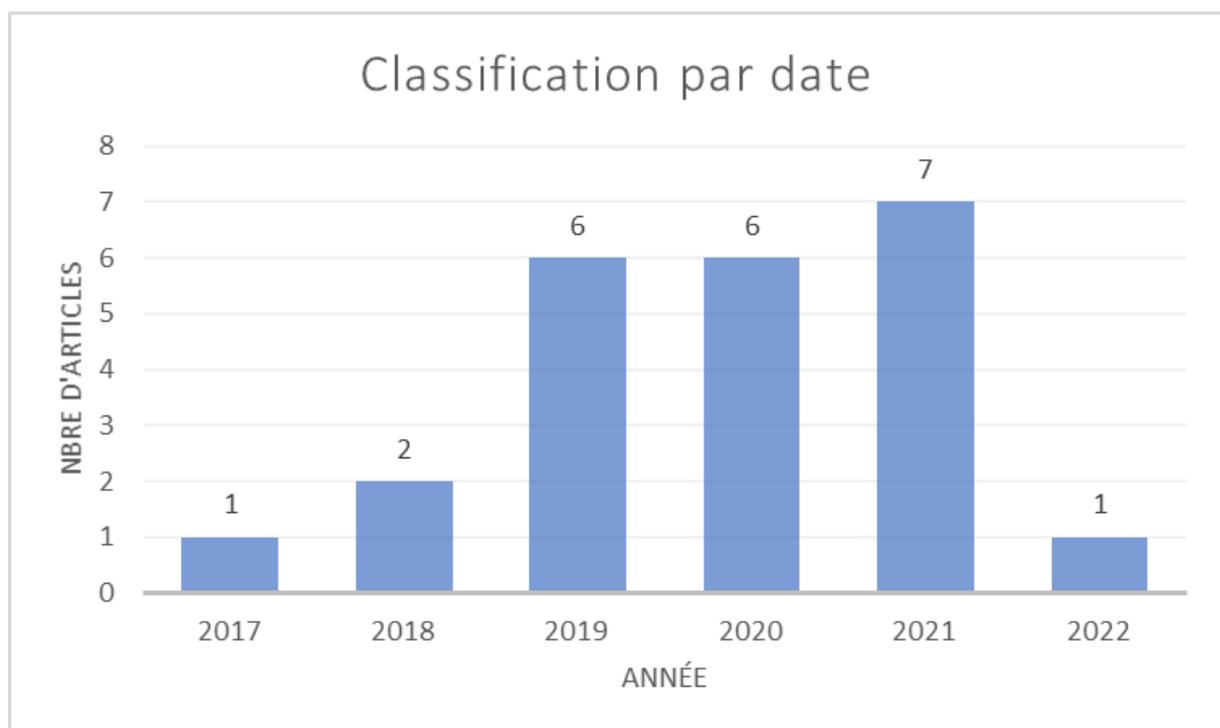


Figure 5 : Histogramme de la classification par année

Une analyse par date des articles sélectionnés est illustrée à la figure 5 qui montre la distribution chronologique de notre échantillon SLR, compte tenu des 29 articles observés sur la base d'une plage de publication de six ans c'est-à-dire pour des dates de publication allant de 2017 à 2022.

Cependant, nous remarquons une augmentation considérable du nombre de publications annuelles pour les études à compter de 2017 suggère que l'attention académique et l'intérêt des chercheurs sur le domaine de la Blockchain se sont intensifiés au cours des dernières années. La baisse en 2022 (un

seul article trouvé) est peut-être justifiée par le fait que notre échantillon s'est limité à mai 2022 c'est-à-dire au moment de la collecte de l'échantillon.

#### 4.1.2. Classification par type de confiance :

Dans cette étape, nous avons regroupé les articles en fonction du type de confiance dans le but d'avoir une idée sur l'intérêt général des chercheurs en identifiant quel type de confiance est le plus discuté afin de faciliter l'étape de l'analyse qualitative lors de la phase de l'extraction des exigences par type de confiance.

Nous avons ressorti les trois axes de confiance les plus discutés dans les revues :

- La confiance sociale ;
- La confiance numérique ;
- La confiance envers la technologie.

Ainsi pour chaque type, le résultat obtenu est le suivant :

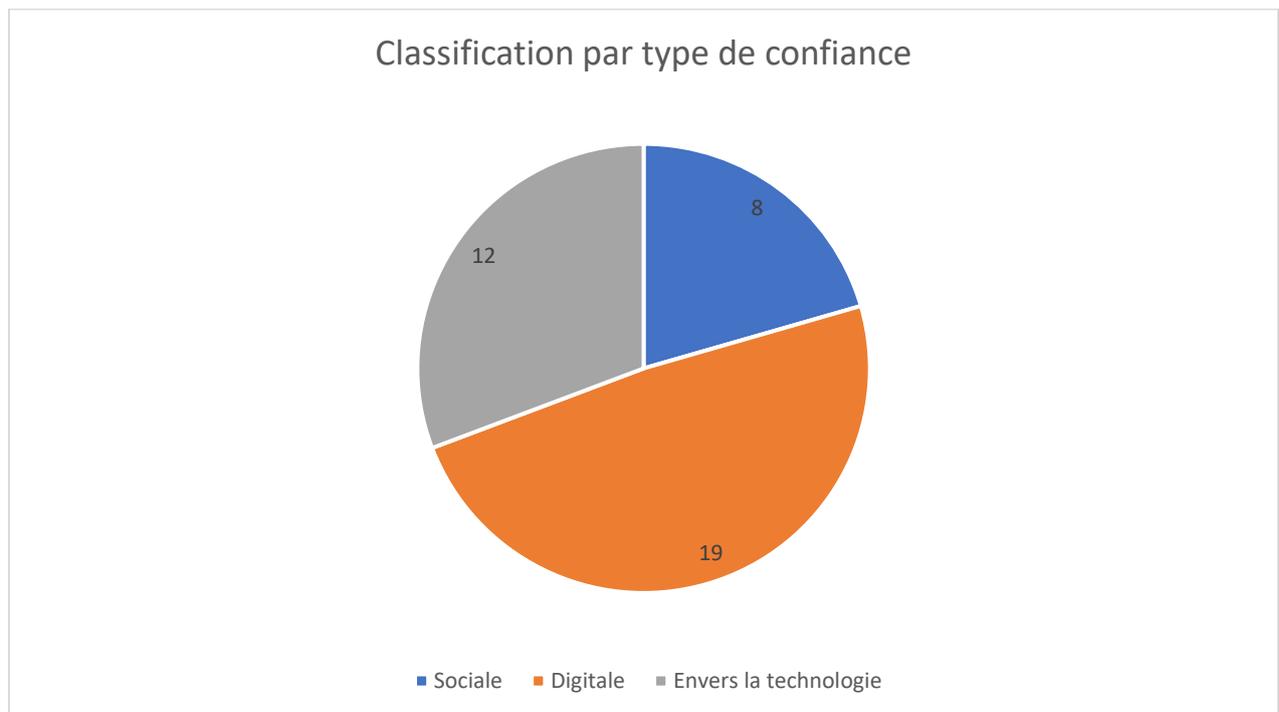


Figure 6 : Histogramme de la classification par type de confiance

Comme nous pouvons le remarquer, l'intérêt général des articles portent sur la confiance numérique. Ces articles généralement regroupent l'aspect sécurité, confidentialité et traitement des données ce qui représentent selon les auteurs des exigences des entreprises lors de l'adoption d'une nouvelle technologie.

En outre, nous trouvons des articles comportent sur plus d'un type de confiance, par exemple les articles [ (1), (12), (13), (14), ...] qui sont autour de la confiance numérique et envers la technologie, les articles [ (15), (16), (2), (17), (18), (19), (20), (6), ...] qui sont autour de la confiance numérique et sociale, et d'autres articles qui portent sur les trois types de confiance tels que [ (21), (13), (22), ...].

Néanmoins, nous trouvons des articles qui ne sont pas dédiés spécialement à la Blockchain mais qu'ils parlent de manière générique sur la confiance notamment l'article (23) qui parle sur la confiance dans les systèmes d'information, l'article (6) qui décrit les propriétés et les exigences que doit posséder le système CPS pour être digne de confiance, etc... Nous avons eu recours à ces revues portant sur les exigences d'une entreprise face aux systèmes d'informations pour extraire leurs besoins que nous avons interpolé par la suite à la Blockchain pour voir comment elle peut les satisfaire.

#### 4.1.3. Classification selon type de revue :

Ainsi, la dernière classification concerne les différents types de recherche. En effet, nous avons groupé notre liste de 29 articles sur trois types de revues principales :

- Article de type recherche théorique (avec analyse théorique) : Ce type d'article a pour objectif d'établir des questions de recherche ou des problématiques en vue d'y répondre en explorant les théories, les concepts clefs et les idées antérieures qui aident à mieux comprendre l'étude en question sans aborder des solutions pratiques.
- Article de type recherche proposant une solution sans validation empirique : Il s'agit de proposer une solution, une approche ou une méthode pour répondre à une problématique ou des questions de recherche sans validation empirique, c'est-à-dire sans aucune preuve d'observation ou d'expérimentation pour la solution proposée.
- Article de type recherche proposant une solution avec validation empirique : La recherche empirique repose sur une preuve empirique c'est à dire valider une solution par la baie des observations ou des expériences (exemple cas pratiques évoquées dans les articles) en vue de tenter de répondre à des questions de recherche spécifiques.

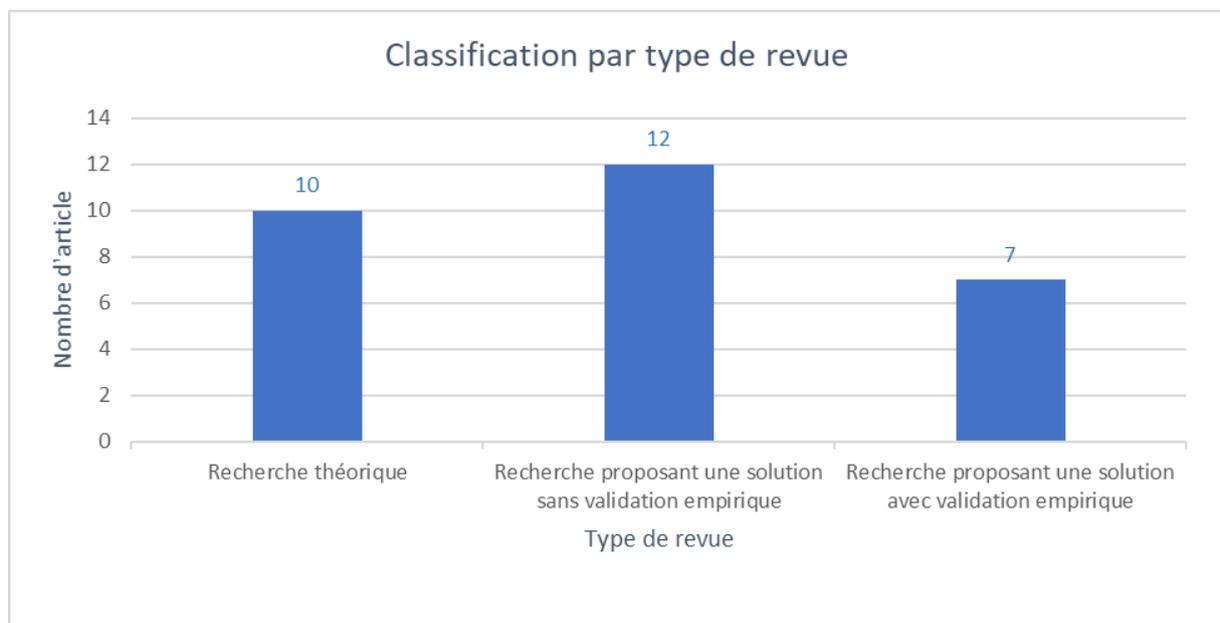


Figure 7 : Histogramme de la classification par type de revue

Comme nous pouvons l'observer, le type de revue comportant le plus d'articles est la recherche proposant une solution sans validation empirique (12 articles). En effet, un grand nombre d'articles

évoque un solution/approche basée sur la blockchain pour atténuer des problèmes de confiance après les avoir analysés et identifiés, et d'autres articles propose des cadres basés sur la blockchain pour améliorer les processus métiers collaboratif d'une organisation. Toutes ses propositions sont sans validations de solutions c'est-à-dire qu'aucune analyse des observations ou d'expérimentation est abordée.

Ensuite, nous avons 10 articles de type recherche théorique. La plupart des articles évoquent la technologie blockchain, ils ont principalement pour objectif de définir ses concepts clefs et théorie ainsi que son impact dans une entreprise, plus précisément, dans les processus métiers collaboratif d'une entreprise. D'autres articles traitent des exigences qui permettent de faire confiance à la blockchain d'une part, et analysent des exigences qui renforcent la confiance vers les technologies et les systèmes d'informations de manière générique pas spécialement des exigences dédiées à la Blockchain d'autre part. Tous ces articles portent sur des analyses générales sans propositions de solutions.

Et enfin, nous avons 7 articles de recherche proposant une solution avec validation empirique ce qui représente la minorité de nos études. En effet, la majorité de ces articles propose des modèles et des applications basés sur la blockchain pour confirmer certaines hypothèses concernant le rôle de la blockchain pour construire la confiance en répondant aux exigences et aux besoins des entreprises, ainsi que son impact dans les processus métiers collaboratifs. Ainsi, parmi ces articles nous trouvons quelques études proposant une solution qui combine la blockchain avec d'autres technologies par exemple le Cloud ou l'IoT (comme RFID).

## 4.2. Analyse qualitative

Dans cette section, nous allons examiner plus en détail les articles afin de répondre précisément à nos questions de recherche.

D'abord, nous allons répondre à QR1 soit "La communauté des chercheurs identifie-t-elle les exigences liées à la confiance pour les organisations ? "

Lors de la phase d'analyse, nous avons constaté que les exigences ne sont pas explicitement exprimées par les auteurs c'est-à-dire qu'elles ne sont pas clairement expliquées et énoncées de manière formelle en respectant la syntaxe et la formulation des exigences mentionnées dans la section II.3, mais elles sont implicitement citées de façon sous-entendues ce qui nous impose de les déduire nous-mêmes. Plus précisément, nous avons trouvé quelques articles tel que (1) qui utilisent des phrases pour exprimer des exigences de manière explicite en respectant la syntaxe, par exemple, "Les messages doivent être envoyés et transmis de manière anonyme", ou bien des exigences sous forme des phrases qui contiennent le mot exigence seulement par exemple "un schéma d'authentification qui réponde aux exigences de sécurité et de confidentialité des réseaux VANET, notamment l'authentification des entités et des messages, la non-répudiation, la traçabilité, la préservation de la confidentialité...", ou même en utilisant des sous titres comme "les exigences de sécurité, les exigences de confidentialité,..." dans (8).

En outre, nous avons trouvé des articles tels que (12) et (16) qui utilisent le mot "incertitude" par exemple "incertitude liée à l'activité d'un processus", "liée au déroulement du processus"... , que nous avons classifiés comme des articles qui parlent des exigences opérationnelles de manière explicite. Aussi, nous trouvons le terme "préoccupation" ou "préoccupation de confiance" dans des phrases comme suit "Les préoccupations de confiance peuvent être, par exemple, l'intégrité d'une action ou la

non-répudiation de celle-ci. “ ou aussi le mot “incertitude”. Tous les articles qui comprennent ces expressions et ces termes, nous les avons considérés comme des études qui explicitent les exigences de confiance.

Concernant les exigences implicites nous avons déduits à partir des articles tels que (24) qui utilisent des phrases contiennent des mots comme “obligé” par exemple “ les systèmes de gestion des processus métier (BPM) dans l'industrie 4.0 sont obligés de numériser et d'automatiser les flux de travail des processus métier et de soutenir les interopérations transparentes des fournisseurs de services. ”, ou le terme “problème de confiance” que nous avons déduit comme des expressions relatives aux exigences.

Par conséquent, pour les exigences implicites et explicites qui ne sont pas bien formulées nous avons procédé à leur reformulation afin de les rendre conformes aux normes des ingénieries des exigences.

De plus, nous avons trouvé que les types de confiance renforcées par les exigences ne sont pas définis de manière précise dans la plupart des articles. Par exemple, dans l'article (22) l'auteur décrit des caractéristiques tel que “la décentralisation” , “la protection des données”... en les décrivant comme “Les principales caractéristiques de l'utilisation de la technologie blockchain pour fournir une confiance techniquement explicite dans les chaînes d'approvisionnement de l'industrie de la mode” Nous citons dans l'article (2) la phrase “La performance et la résilience sont utilisées comme des propriétés du domaine de la qualité des logiciels ont suggéré d'utiliser la combinaison des attributs de sécurité et de qualité pour caractériser les exigences des systèmes logiciels” donc nous avons considéré ces deux citations comme des exigences qui renforce la confiance envers la technologie.

En effet, nous allons extraire les exigences qui sont citées dans les articles, ensuite, les regrouper dans un tableau par rapport à leur dépendance au niveau de l'architecture de l'entreprise (stratégique, opérationnel ou technique) et enfin les classer par le type de confiance dont lequel ils vont renforcer (numérique, sociale ou vers la technologie) ainsi que les références des articles correspondantes.

Exigences	Description de l'exigence	Niveau EA	Type de confiance	Références	
				Explicite	Implicite
La non-répudiation	- Une organisation doit garantir la non-répudiation d'un événement particulier d'un processus collaboratif.	Opérationnel	Confiance numérique, Sociale	(1), (12), (25), (14), (16), (2), (26)	(8), (8)
La finalité	- Le système doit garantir la finalité d'un processus	Opérationnel	Confiance vers la technologie, Sociale	(12)	(12)
Conformité réglementaire	- Une application doit respecter les règles de conformité en vigueur liées à son domaine d'activité	Opérationnel	Confiance numérique, Sociale	(12), (8), (8)	(19), (15)
La transparence	- Les flux du processus collaboratif (les tâches, les transactions, les données) doivent être partagés de manière	Stratégique	Confiance sociale, Confiance numérique	(25), (8), (16), (2), (17)	(1), (12), (21), (22), (19), (27)

	transparente entre les collaborateurs.				
Le contrôle	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le système doit contrôler l'accès à ses ressources.</li> <li>- L'organisation doit contrôler les transactions.</li> <li>- L'organisation doit contrôler ses processus.</li> </ul>	<p>Technique,</p> <p>Stratégique (stratégie de contrôle)</p> <p>Opérationnel</p>	<p>Confiance vers la technologie</p> <p>Confiance numérique</p> <p>Confiance sociale</p>	<p>(13), (8), (19)</p> <p>(12), (28), (2), (20)</p> <p>(12), (8), (3), (16), (2)</p>	<p>(13), (27)</p> <p>(8), (19)</p> <p>(15), (13), (20), (29), (30)</p>
La surveillance	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le système doit surveiller les processus.</li> </ul>	Stratégique	Confiance sociale	(19), (27), (23)	(13)
L'intégrité	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le système doit exécuter les activités d'un processus correctement et dans le bon ordre.</li> <li>- Le système doit garantir l'intégrité des données.</li> </ul>	<p>Opérationnel,</p> <p>Technique</p>	<p>Confiance numérique, Sociale</p> <p>Confiance numérique, confiance vers la technologie</p>	<p>(12), (28), (2), (20)</p> <p>(8), (17)</p>	<p>(15), (3), (29), (30)</p> <p>(13), (25), (15), (19), (27)</p>
La traçabilité	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'organisation doit tracer les transactions et les opérations dans ses processus.</li> </ul>	Opérationnel, stratégique	Confiance envers la technologie, Confiance sociale	(1), (15)	(13), (25), (8), (27), (24), (19), (30)
La disponibilité / la résilience	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Un système doit garantir la disponibilité des ressources, des outils ou des composants logiciels.</li> </ul>	Technique	Confiance vers la technologie	(12), (8), (3), (16), (2)	(24)
L'immutabilité et l'invulnérabilité	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le système doit garantir l'immutabilité</li> </ul>	Stratégique	Confiance numérique,	(12), (13), (16),	(1), (21), (25), (15),

	et l'inviolabilité des données.		confiance sociale	(19)	(29), (27), (24)
La confidentialité	- Le système doit garantir la confidentialité des données.	Opérationnel	Confiance numérique, Confiance sociale	(1), (12), (25), (8), (16), (2), (17), (20), (27)	(15), (3), (29), (30)
L'automatisation	- Un système doit garantir l'automatisation des processus métier	Stratégique	Confiance vers la technologie	(12), (13), (15), (23), (2), (27), (24)	(25), (22), (19), (20)
La décentralisation	- Une organisation doit décentraliser ses applications.	Stratégique	Confiance vers la technologie	(1), (12), (21), (22), (16)	(8), (19), (27)
La consommation des ressources	- Un système doit réduire la consommation de ressource (temps, énergie, GPU)	Technique	Confiance vers la technologie	(12), (8), (3), (16), (2)	(13), (25), (15), (19), (27)
La rapidité	- Le système doit garantir la rapidité des traitements des données.	Technique	Confiance vers la technologie	(2), (16), (19)	(12), (13), (15), (23), (2), (27), (24)
L'anonymat	- Le système doit garantir l'anonymat des transactions.	Stratégique	Confiance numérique, Confiance sociale	(12), (8), (3), (16), (2)	(15), (3), (29), (30)
L'interopérabilité	- Le système doit garantir l'interopérabilité des services et des processus métiers.	Opérationnel	Confiance envers la technologie	(12), (13), (2), (27), (24)	(25), (22), (19)
L'autonomie	- Le système doit garantir l'autonomie d'exécution des fonctionnalités d'un service et sans l'intervention d'autorités centrales.	Technique	Vers la technologie	(1), (2), (16), (19), (12), (21), (22)	(24), (25), (13), (15), (27)

Tableau 1 : Tableau de classification des exigences

La source des exigences cités dans le tableau ci-dessus vient d'un travail d'extraction fait sur l'ensemble des articles que nous avons recensé lors de la phase recherche vu que la littérature ne présente pas une liste exhaustive de l'ensemble des exigences pour la confiance de l'entreprise dans la Blockchain.

Une fois que nous avons extrait et classifié les exigences, nous allons dans cette partie répondre à Q3-b soit "Comment la technologie blockchain peut-elle satisfaire ces exigences ?"

Afin de répondre à cette question, nous avons commencé par cerner les caractéristiques principales de la Blockchain qui ressortent le plus dans les littératures, notamment, la décentralisation, la cryptographie, l'anonymat, le consensus, les contrats intelligents, la confidentialité et la performance. Ensuite, nous avons extrait à travers les articles l'impact de ces derniers sur les exigences cités dans le tableau :

### 1) Décentralisation

La blockchain est caractérisée par sa base de données décentralisée, elle adopte le concept du paradigme du réseau P2P. Le fonctionnement du P2P est basé sur un système de base de données décentralisé où tous les nœuds ont les mêmes droits et obligations.

Dans la plupart des articles tels que (12), (21) et (25) cette caractéristique est exprimé comme avantage parce qu'il n'y a pas d'autorité centrale dans un processus de transaction décentralisé, par conséquent, les goulots d'étranglement au niveau du serveur central sont éliminés dans un système décentralisé.

#### - Disponibilité

La disponibilité est exprimée en plusieurs articles tels que (12) et (2) comme exigence pour assurer la performance d'un système et au sein d'un processus métier. Grâce à la caractéristique de décentralisation de la blockchain, l'ensemble des données est répliqué par chaque nœud du réseau, cela signifie que la défaillance d'un seul nœud n'entrave pas l'ensemble du système, ce qui garantit sa résilience et la disponibilité des données pour les utilisateurs.

#### - La transparence

Les articles tels que (25), (22) et (8) indiquent que les données et les interactions doivent être visibles pour tous les participants dans un processus métier collaboratif, par conséquent, ce problème peut être atténué par l'utilisation de la technologie blockchain comme environnement informatique hautement transparent.

#### - L'autonomie

Dans la plupart des articles tels que (8) et (24), la décentralisation est exposée comme avantage pour une entreprise également pour assurer que les services peuvent exécuter des fonctionnalités de manière autonome sans l'intervention d'autorités centrales, même au niveau d'un processus métier puisque les données sont reliées en temps réel et les utilisateurs ou les collaborateurs peuvent prendre des décisions plus autonomes.

### 2) La cryptographie

#### - Intégrité, l'immutabilité et la non répudiation

Les plateformes blockchain s'appuient sur la cryptographie pour exécuter des fonctions mathématiques qui font partie des algorithmes cryptographiques. Dans (3), la cryptographie est

décrite comme des algorithmes qui remplissent des fonctions essentielles pour la blockchain, car ils assurent ou du moins permettent la sécurité et la confidentialité des données.

L'article (12), (16) et (13) ont exprimé l'importance de l'intégrité des données (les transactions, les messages) car leur modification ou manipulation peuvent entraîner des anomalies et des comportements malveillants, et que dans les applications décentralisées il est difficile de vérifier l'intégrité des données et de retracer leur provenance, donc la Blockchain peut atténuer le problème d'intégrité des données par des techniques cryptographiques (telle qu'un hachage cryptographique fort comme SHA-256). En outre, en (17) et (19) la caractéristique d'immuabilité de la blockchain est évoquée en expliquant qu'elle est assurée puisque les blocs sont enchaînés en utilisant le hachage comme pointeur vers le bloc précédent, ainsi par l'utilisation des protocoles de consensus qui permet aux nœuds du réseau de la Blockchain de créer une confiance dans l'état d'un processus et rend les transactions et les opérations résistantes à la falsification.

En outre, les auteurs évoquent ses caractéristiques d'intégrité et d'immuabilité des transactions de la blockchain comme promoteurs pour la non-répudiation. Selon les auteurs, la non-répudiation garantit que le créateur/expéditeur de l'information ne peut pas nier ultérieurement ses intentions dans la création ou la transmission de l'information (12). Elle est considérée dans l'article (12) et (16) comme préoccupation de confiance c'est à dire un sujet d'incertitude en le considérant comme un problème de confiance dans les processus de travail collaboratif. Par conséquent, les auteurs expliquent qu'il est essentiel que les organisations ne puissent pas nier l'occurrence d'un événement dans un processus métier ainsi que les données qui y sont liées (ces données peuvent être stockées dans des contrats intelligents), ceci à l'aide de la technologie blockchain, grâce au mécanisme de cryptage et des protocoles de consensus qui permettent de garantir l'immuabilité des données ainsi que les contrats intelligents.

### 3) L'anonymat :

Dans (1), l'auteur exprime l'anonymat comme exigence dans son système, il a indiqué que les messages doivent être envoyés et transmis de manière anonyme, car ils contiennent généralement des informations privées sur les utilisateurs, comme l'emplacement géographique.

La technologie blockchain peut garantir l'anonymat car elle pseudo-anonyme et l'identité des personnes impliquées dans la transaction est représentée par une clé d'adresse sous la forme d'une chaîne aléatoire.

### 4) Consensus

#### - L'autonomie

Les auteurs évoquent l'intérêt du protocole de consensus et son importance pour créer l'autonomie entre les participants dans un processus métier collaboratif puisque les règles et protocoles de fonctionnement de la blockchain sont basés sur le consensus et ne peuvent être influencés par un seul nœud ou une autorité centrale. Ainsi, tout nœud de la chaîne peut lire, écrire et vérifier les blocs à tout moment et comme il n'y a pas de nœud de coordination, les blocs sont maintenus conjointement par tous les nœuds du réseau, ce qui peut maintenir un état cohérent et fiable des données de la Blockchain. (27)

Dans (1) une plateforme Ethereum a été mise en place qui est basée sur des contrats intelligents dans le but d'avoir une exécution autonome et transparente des programmes en expliquant que l'application "Le Metaverse CUHKSZ" renforce la gouvernance autonome en introduisant un protocole de vote par

preuve d'enjeu déléguée (DPoS) pour toute motion ou proposition de révision des règles prédéfinies. L'auteur à exprimer son intention de construire un écosystème équitable et transparent pour améliorer le bien social par la mise en place de la blockchain et son mécanisme de consensus DPoS, par conséquent, nous pouvons tirer que la blockchain peut jouer un rôle intéressant pour établir la confiance entre les membres d'un réseau.

## 5) Les contrats intelligents

Un contrat intelligent de blockchain est un code logiciel lié à une blockchain dans le but de valider, de contrôler et de lier les actions de l'accord qui a été signé par les différents participants. Il contient une valeur et ne débloquer cette valeur que si certaines conditions prédéfinies sont remplies. Lorsqu'une valeur particulière est atteinte, le contrat intelligent change d'état et exécute les algorithmes prédéfinis par le programme, déclenchant automatiquement un événement sur la blockchain. (15)

### - Contrôle, automatisation, surveillance

En effet, (31) propose un cadre et une architecture système pour la gestion de la qualité de la chaîne d'approvisionnement basée sur la blockchain, sur les contrats intelligents et divers capteurs IoT.

Le cadre et l'architecture système correspondante sont composés de quatre couches :

- La couche inférieure est la couche des capteurs IoT. Dans cette couche, le GPS est utilisé pour localiser les produits dans le processus logistique. Les informations relatives à la qualité, aux actifs et aux transactions sont enregistrées par la technologie RFID
- La deuxième couche est la couche de données, qui comprend la blockchain et le registre distribué sécurisé. Dans la blockchain, il existe quatre types de données : les données relatives à la qualité, les données logistiques, les données relatives aux actifs et les données relatives aux transactions. En outre, toutes les entreprises conservent une copie des données sur la blockchain. la chaîne d'approvisionnement, notamment les fournisseurs, les fabricants, les opérateurs logistiques, les détaillants et les institutions financières.
- La couche supérieure est celle des métiers. Cette couche comprend diverses activités commerciales dans les entreprises. Chaque entreprise de la chaîne d'approvisionnement est capable de contrôler et de gérer la qualité des produits grâce à la blockchain et aux contrats intelligents. Elles prennent également des décisions sur les activités d'achat et de fabrication en fonction des suggestions fournies par les contrats intelligents.

L'auteur indique que les contrats intelligents utilisent les données qui existent dans la couche de données pour effectuer un contrôle de la qualité et améliorer l'efficacité de la chaîne d'approvisionnement, ainsi, planifier automatiquement la logistique grâce aux données de logistique, et analyser automatiquement les demandes des clients finaux et fournissent des suggestions d'achat et de production aux fabricants et aux fournisseurs grâce aux données relatives aux transactions ce qui peut faciliter et améliorer la prise de décision sur ces activités par l'entreprise.

Par conséquent, cet article montre que les contrats intelligents et la blockchain améliorent le contrôle et la surveillance d'un processus métier ce qui permet d'améliorer l'efficacité et les bénéfices dans une entreprise.

### - Intégrité

Dans un processus métier collaboratif, l'intégrité est une préoccupation essentielle pour créer un processus métier basé sur la confiance en réduisant l'incertitude quant à son exécution, comme

affirmé les auteurs dans (12) et (16) la blockchain atténuer l'incertitude concernant l'exactitude du flux d'un processus grâce aux contrats intelligents.

En effet, dans (12) un modèle a été proposé qui permet de stocker des modèles de processus d'affaires dans des contrats intelligents offrant la possibilité de créer de nouvelles instances du processus et d'exécuter le flux de processus de ces instances dans le but de faciliter le bon ordre d'exécution et la logique des activités.

## 6) Confidentialité

Dans (31), les auteurs ont indiqué que les questions de confidentialité doivent être prises en compte pour le partage des données. Ils ont considéré la confidentialité des données comme exigences dans leur système de gestion d'approvisionnement basé sur la blockchain en expliquant qu'il s'agit des entreprises concurrentes qui opèrent sur la même chaîne d'approvisionnement, par conséquent, certaines informations doivent rester confidentielles pour leurs propres avantages concurrentiels. En effet, pour répondre à cette exigence, l'identité numérique est donc utilisée dans ce système pour contrôler l'autorité d'accès aux données et l'échange.

Cependant, plusieurs organismes de réglementation sont chargés de préserver la confidentialité et les droits d'accès aux données tel que le règlement général sur la protection des données (RGPD) pour l'Union européenne ont des incertitudes autour de la conformité générale de la blockchain avec le RGPD, ces incertitudes sont principalement autour du niveau d'anonymisation et de l'identification des contrôleurs de données dans un réseau décentralisé.

Dans [9], une solution blockchain est mise en place sous la forme d'une plateforme basée sur Ethereum appelée VerifyMed, elle est conçue pour améliorer la confidentialité et le contrôle d'accès des utilisateurs.

L'auteur souligne que sa plateforme respecte bien le règlement en expliquant les points suivants :

- Cette plateforme est également conçue pour renforcer le droit d'accès de la personne concernée (conformément à l'article 15 du RGPD).
- Pour que le système soit conforme à l'article 17 de la RGPD (droit à l'effacement ou " droit à l'oubli ") et à l'article 15 du RGPD (le droit d'accès) une solution est proposée, c'est de stocker les données personnelles hors-Chain.
- Comme le système est décentralisé par sa conception et qu'il existe des possibilités pour l'utilisateur d'accéder aux données et de les recevoir à tout moment, il est conforme à l'article 20 du GDPR (droit à la portabilité des données).
- Le système nécessite une solution de gestion de l'identité pour garantir l'anonymat complet des utilisateurs et est conforme à l'article 32 du GDPR (sécurité du traitement).

Nous pouvons conclure que la blockchain peut garantir la confidentialité des données qui peut jouer un rôle majeur pour établir une relation de confiance entre les collaborateurs dans un processus métier, ainsi que pour renforcer la confiance numérique puisque la confidentialité est parmi les propriétés de base de la sécurité de l'information (2).

## 7) La performance :

Pour mieux illustrer certaines exigences pour assurer la performance d'un système tel que l'évolutivité (le débit, les délais de transaction, le temps de latence) et la sécurité, nous allons analyser l'article (13) qui présente une expérience de mise en pratique de la blockchain afin de répondre à ces dernières :

Dans cet article une approche est proposée pour créer la confiance dans les chaînes d'approvisionnement avec divers éléments IoT. Ce modèle de confiance a pour objectif de simplifier le partage des données et réduit les exigences en matière de calcul, de stockage et de latence tout en augmentant la sécurité de la gestion de la chaîne d'approvisionnement

L'auteur a évoqué que l'intégration de la blockchain dans ce modèle peut assurer la sécurité et la transparence des transactions de la chaîne d'approvisionnement en indiquant qu'elle représente un choix approprié, compte tenu des exigences d'efficacité et d'efficience qui sont requises pour les systèmes de la chaîne d'approvisionnement. Ainsi, il a mentionné qu'elle peut améliorer la façon dont les entreprises tracent et surveillent les produits, renforçant ainsi leur légitimité et leur authenticité. De manière plus précise, l'objectif principale de la mise en place de la blockchain est de satisfaire les exigences d'immutabilité des données puisqu'elle permet d'empêcher toute altération possible des données, la traçabilité des données car elle fournit un suivi et une traçabilité en temps réel au sein du processus qui est justifié par la décentralisation et l'ouverture du système, la fiabilité et l'exactitude des données vérifiées par les mécanismes de cryptographie, le contrôle d'accès, ainsi que l'automatisation du processus métiers grâce aux contrats intelligents.

Pour renforcer l'authentification des nœuds et le contrôle de la transmission des messages, l'auteur a proposé de calculer un score de confiance pour chaque nœud. La confiance peut être mesurée en évaluant les tentatives de vérification de succès/échec dans les transactions précédentes et en utilisant les valeurs du taux de succès/échec dans les transactions futures. Plus le taux de réussite des tentatives de vérification des rencontres passées est élevé, plus la confiance est grande. La valeur de confiance est ensuite utilisée pour punir ou récompenser les nœuds en fonction de leur performance. Ainsi, l'objectif de l'évaluation de ce modèle est réalisé sur la base d'un score de confiance pour les produits et les entités de la chaîne d'approvisionnement (les nœuds de la blockchain).

Après l'expérimentation, l'auteur a surmonté deux problèmes :

- Selon le score de confiance obtenu, le modèle proposé montre qu'il permet d'avoir plus des nœuds honnêtes par rapport aux DPoS, PoS et PoW, ainsi, il a constaté que plus le nombre des nœuds augmente dans la chaîne plus le risque d'avoir des nœuds malhonnêtes augmente.
- Les résultats de la simulation montrent qu'il est moins efficace d'appliquer le modèle de consensus PoW dans la gestion de la chaîne d'approvisionnement, parce que ce consensus nécessite un matériel exigeant en puissance de calcul, et le processus de minage s'accompagne également d'une forte consommation d'énergie et de temps pour effectuer des activités et des transactions.

En effet, d'après l'auteur la combinaison de l'IoT et de la technologie blockchain peut résoudre les problèmes de confiance entre les parties de la chaîne d'approvisionnement et préserver l'intégrité des données.

Nous pouvons tirer de cet article qu'une blockchain privée ou à autorisation est plus efficace dans la gestion des processus métiers collaboratifs en termes de confiance puisque le nombre des nœuds est connu ou bien limité (plus de contrôle d'accès) et de performance (consommation d'énergie, temps de transaction).

Ainsi, d'autres articles comme (3) et (2) ont souligné que les protocoles de consensus peuvent influencer fortement la performance de la blockchain tels que la vitesse de transaction et la consommation d'énergie. Plus précisément, ils ont mentionné le consensus BFT pratique en tant qu'un protocole de plate-forme de Blockchain autorisée le plus largement utilisé pour ses avantages tels que la vitesse de transaction et la consommation d'énergie plus faible par rapport au Proof of Work dans la blockchain publique.

De plus, dans (12) l'auteur un problème a été soulevé c'est la finalité des transactions. Il a expliqué que les transactions effectuées sur les registres distribués ne sont pas instantanément synchronisées avec tous les pairs et le consensus implique un délai, ainsi qu'une fois que la majorité des pairs du réseau ont accepté la transaction, celle-ci peut être considérée comme définitive, par conséquent, selon l'auteur la finalité pratique peut varier fortement en fonction du protocole de consensus, entre une finalité quasi instantanée et plus d'une heure ( par exemple le consensus Nakamoto de Bitcoin assure la finalité probabiliste), c'est pourquoi il a souligné que les protocoles offrant une tolérance pratique aux pannes byzantines (PBFT) peuvent assurer la finalité absolue.

## 5. Discussion

---

A partir de l'année 2008, la technologie Blockchain a connu une évolution figurante notamment avec l'apparition de la Bitcoin et les autres déclinaisons de la cryptomonnaie qui évoluent de jour en jour et ce qui a accéléré l'engouement aux tours de cette technologie c'est notamment l'essor des systèmes distribués et l'intérêt des chercheurs pour la Blockchain en tant que solution idéale pour ces derniers, la présentant comme innovante et évolutive [22], et qu'elle représente l'essor du monde numérique, d'où l'intérêt de voir ce qu'elle peut apporter à l'entreprise et à quel point elle peut être fiable. Cela nous amène à la question principale de notre mémoire à savoir :

### **Quel est le rôle de la Blockchain dans une entreprise ?**

Afin de pouvoir répondre à cette question, notre démarche était de passer en revue les études afin d'étudier les besoins de l'entreprise pour voir ensuite ce que peut apporter la Blockchain.

#### Identification des exigences de confiance pour la Blockchain par la communauté de chercheurs

Durant la phase de l'analyse quantitative, nous avons essayé de classer les revues par type de confiance (confiance numérique, confiance sociale et confiance envers la technologie). En effet, nous avons tout de suite remarqué qu'il y avait quelques articles qui évoquaient la confiance de manière générique c'est à dire qu'ils ne sont pas dédiés spécifiquement à la Blockchain mais qu'ils parlent de manière générique sur la confiance tels que la confiance envers les systèmes d'informations ou les logiciels ou bien la confiance sociale dans son sens large.

De plus, dans la littérature la plupart n'identifie pas explicitement les exigences de confiance pour la Blockchain qui peuvent pousser les entreprises à l'adopter. Plus précisément, nous avons trouvé que soit ces exigences sont implicitement indiqués c'est-à-dire ne sont pas bien formulés comme exigences ou bien ne sont pas précises, sinon ils sont mentionnés explicitement mais il manque plus de précision sur leurs dépendances pour quel type de confiance et quel niveau de l'architecture de l'entreprise (niveau stratégique, niveau opérationnel ou technique).

Cependant, nous avons essayé d'extraire les exigences à partir de ces littératures pour enfin apercevoir le rôle de la Blockchain dans la satisfaction de ces derniers selon les chercheurs.

#### Les exigences de confiance pour la Blockchain selon la communauté de chercheurs

La littérature classe les réseaux blockchain en fonction de leur système d'accès et de gouvernance sur les quatre types suivants : public, privé, consortium et hybride. De plus, ils sont répartis selon leur type d'accès à savoir sans autorisation ou avec autorisation selon le besoin de l'entreprise. D'autres combinaisons des types et des autorisations de processus de consensus sont également possibles, par conséquent, avant d'adopter une solution blockchain (19), il est important d'examiner et de tenir compte de l'adéquation de cette technologie par rapport aux exigences des cas d'utilisation de l'entreprise.

D'après notre analyse qualitative, l'architecture décentralisée de la Blockchain permet alors de distribuer automatiquement des logiciels et d'autres contenus via le réseau, ainsi, de partager des données et d'interagir dans un environnement visible et transparent pour tous les participants, principalement dans une blockchain sans autorisation. Ainsi, en tant que technologie distribuée sans tiers de confiance, la blockchain a besoin d'un mécanisme de consensus distribué pour que tous les participants s'accordent sur son état. Ce mécanisme est peut-être considéré comme le cœur de toutes

les transactions car il permet d'établir une relation de confiance entre les parties de la chaîne ce qui implique qu'ils n'ont plus besoin d'avoir recours à des moyens de contrôle lors de la validation des transactions.

En outre, le mécanisme de consensus accompagné du mécanisme de hachage permettant d'assurer l'intégrité et l'exactitude des transactions effectuées favorisant d'une part la confiance sociale et la coordination au niveau du réseau, et d'autre part, la confiance dans l'état du journal et rend la blockchain spécialement résistante à la falsification (toutes les transactions sont conservées à jamais sans possibilités d'être supprimées ou modifiées), d'où les caractéristiques d'immutabilité et de la non-répudiation de la blockchain.

En ce qui concerne la confidentialité, les entreprises ont beaucoup d'exigences qui doivent être satisfaites (notamment par rapport à la loi, la RGPD...) afin d'accorder leur confiance à la blockchain. Ainsi, selon la littérature, la blockchain et la cryptographie peuvent assurer la confidentialité des données mais il faut tenir compte que le choix du bon outil d'amélioration de la confidentialité dépend fortement du cas d'utilisation et de la configuration de l'interaction (Blockchain public ou privé, avec ou sans permission, stockage de données On-chain ou Off-chain).

Lors de la mise en œuvre d'applications de confiance, une entreprise doit évaluer les exigences de confidentialité de chaque interaction avec la blockchain et choisir l'outil approprié.

En fonction de la mise en œuvre de la Blockchain, les articles indiquent une potentielle réduction de coûts résultant de la désintermédiation, des temps de transaction plus rapides, et une meilleure traçabilité et vérification des données grâce aux contrats intelligents.

Le contrat intelligent représente une autre partie intéressante de la blockchain, qui permet aux organisations d'automatiser leurs transactions et contrôler leurs processus métiers collaboratifs en éliminant les opérations manuelles effectuées à partir d'intermédiaires, ce qui peut révolutionner la gouvernance organisationnelle et la prise de décision.

Toutes ces affirmations exprimées par les chercheurs suscite qu'il y a bien eu une recherche pertinente sur l'implication de la blockchain dans l'entreprise en tant que facilitateur de confiance entre les collaborateurs, ainsi que les autres caractéristiques sous-jacentes telles que la sécurité et la confidentialité sauf que ces constatations ne sont pas toujours exprimées de manière explicites et formelle ce qui a engendré des doutes chez les entreprises et spécialement les mastodontes qui n'ont pas de place pour le doute. Ce qui nous amène au point suivant de la discussion à savoir la réticence des entreprises face à la Blockchain.

### [Les facteurs qui empêchent l'adoption de la blockchain dans une entreprise](#)

D'après les résultats de l'analyse effectuées dans la section précédente, nous remarquons qu'il manque clairement une compréhension empirique approfondie des facteurs qui influencent l'adoption de la blockchain dans une organisation malgré tous ses avantages s'étendant non seulement sur le niveau technique mais aussi au niveau opérationnel et stratégique, donc comprendre ces facteurs est un prérequis pour discuter et expliquer ce phénomène.

Le point important que nous avons constaté lors des analyses quantitatives c'est qu'il manque des articles qui proposent une solution avec validation empirique, c'est-à-dire avec preuve d'observation ou d'expérimentation pour la solution proposée. C'est vrai que les articles ont mentionner les bénéfices de la Blockchain et son utilité dans une organisation mais ces avantages commerciaux tangibles ne sont souvent observés qu'après que l'application soit opérationnelle pendant un certain

temps, donc il est difficile d'évaluer les résultats empiriques et par la même occasion le potentiel de la Blockchain ce qui implique une faible confiance envers cette technologie.

Afin de citer un cas concret des freins et enjeux de l'entreprise face à la Blockchain, nous pouvons mentionner notre alternance au sein de BNP Paribas (BNPP) où nous avons eu l'occasion de participer à une conférence Blockchain Innovation Day organisée par IBM.

L'objectif de cet événement était d'aider BNPP à mieux appréhender ce que IBM fait dans le domaine de la Blockchain en présentant quelque réalisation et comment elle pourrait, à partir d'expériences client, contribuer à la création puis au développement d'un centre de compétence Blockchain pour BNPP.

Durant la conférence les représentants d'IBM ont commencé par présenter quelques retours d'expériences par rapport à une expérimentation dans le secteur bancaire de la technologie Blockchain avec une banque reconnue et ont présenté un client dans le secteur industriel (logistique maritime), ensuite ils ont exprimé les bienfaits que pouvait apporter cette technologie à la banque en termes de sécurité, interopérabilité (Multi-Ledger) pour l'échange des données et des actifs et automatisation de paiement en utilisant les technologies Hyperledger Fabric et Corda. Enfin, ils ont essayé de concrétiser tout ce qu'ils ont présenté par un workshop portant sur une solution déjà implémentée chez un de leur client du secteur industriel.

Cette présentation a été suivie par l'intervention des représentants de BNP qui ont exprimé les freins qui subsistent face à l'adoption dans leur entreprise et ils ont cité notamment le manque des références (applications et POC) surtout dans le secteur bancaire en France. En plus, la mise en place d'un POC entre BNP et IBM, toujours selon les dires des intervenants de la banque, nécessite un engagement de ressources supplémentaires par rapport à la réalisation d'un test interne, ce qui peut être représenté comme un frein stratégique en addition des coûts en termes de ressources et de temps assez conséquent. De plus, ils ont exprimé qu'ils doutent encore que la blockchain vaille le coût pour lancer un POC, surtout qu'elle a exprimé des enjeux au niveau IT tel que l'incompatibilité technique de la blockchain avec son infrastructure technique actuelle qui exigent de faire des changements assez importants pour s'adapter à la technologie. Cependant, il est possible de les rendre compatibles mais cela nécessiterait des dépenses en termes de temps et de ressources financières.

Le dernier point qui crée des doutes et des incertitudes parmi les organisations quant aux bénéfices de la nouvelle technologie est l'imprévisibilité et l'indisponibilité de normes et de réglementations formelles. Ces normes sont généralement mises en place par des institutions gouvernementales et des organismes reconnus par l'Etat (par exemple IEEE) pour une technologie afin de guider ou même obliger les organisations à investir dans les innovations.

Suite à cette conférence, nous avons tiré une série d'idées concernant les facteurs qui freinent les organisations tel que BNPP pour faire confiance à la Blockchain et de l'intégrer dans ses processus métiers :

- Manque des standards et des normes officielles concernant la technologie, ce qui peut représenter une exigence dans le cadre légal et juridique.
- Absences des expérimentations dans divers secteurs entre autres le secteur bancaire avec des clients de renom faisant office de valeur de confiance.
- Coût et investissement assez important vis-à-vis des avantages que peut procurer cette technologie
- Manque des mesures sur le retour d'investissement à long et à moyen termes.
- Complexité de la compatibilité technique avec une infrastructure pas forcément à jour.

## Limites et perspectives

La limite des approches discutées est le manque de preuves empiriques et de détails concernant la mise en place de la Blockchain et son rôle pour renforcer la confiance dans un processus métier collaboratif. En effet, selon l'analyse quantitative de notre SLR, 41% des articles proposent des approches/modèles sans preuves empiriques.

De plus, la limite de la recherche se porte également sur l'évaluation et l'exhaustivité des exigences de confiance que peut satisfaire et concrétiser la Blockchain dans le cadre organisationnel. Nous avons trouvé peu de solutions et d'expérimentations pour l'application de la Blockchain dans différents processus métiers et même ses solutions ne montrent pas de façon claire et approfondit les exigences de confiance.

En effet, mettre en lumière ces exigences de manière explicites, formelles et claires peut encourager les organisations à adopter la blockchain donc nous recommandons que les chercheurs s'investissent plus dans l'exposition de ces dernières mais aussi de les évaluer, c'est à dire de réaliser des POC pour les tester et de les mesurer afin de prouver que la solution blockchain satisfait belle et bien les exigences et les besoins de l'entreprise, et de comprendre quel processus dans une entreprise pourraient être organisés différemment en utilisant la blockchain et quelles conséquences cela entraînera.

Par conséquent, plus les résultats de l'adoption de la blockchain par une organisation sont visibles, plus l'organisation est susceptible de s'investir dans cette technologie.

Et enfin, compte tenu de la nature naissante de la Blockchain, l'absence des standards et des normes officiels concernant l'application de la Blockchain représente un frein pour les grandes organisations telles que les banques, donc il est important de mettre des standards pertinents afin de permettre aux entreprises de faire confiance à la Blockchain et réduire les doutes sur son développement futur.

## 6. Conclusion

---

La technologie Blockchain est apparue comme une nouvelle technologie qui offre des réductions de coûts appréciables en permettant d'exécuter des transactions de manière peer-to-peer directement entre des entités ou des utilisateurs individuels, sans déléguer la confiance aux autorités centrales ni exiger une confiance mutuelle entre chaque partie. Ces caractéristiques ont conduit à une attention rapide et croissante sur la Blockchain dans différents cadres, notamment les cadres individuels tels que le Bitcoin, et dans des cadres organisationnels tels que la gestion des processus métiers collaboratifs, ceux qui a permis à la blockchain d'émerger dans plusieurs domaines et son application ne sont pas limités aux crypto-monnaies et le domaine financier (les banques) mais aussi dans d'autres domaines à savoir l'industrie tel que la gestion de la chaîne d'approvisionnement, la santé, et l'IoT. En fait, il est possible de voir l'intérêt des organismes et de la communauté scientifique à connaître la faisabilité et les opportunités qu'offre la Blockchain pour améliorer la gestion collaborative des processus de manière décentralisée sauf que la plupart hésitent encore sur l'adoption de cette technologie, ainsi que jusqu'à présent très peu de littérature ont été identifiés pour évaluer de manière concrète la Blockchain et ses applications dans différents cadres et domaines.

Dans ce contexte, notre revue littéraire systématique avait pour but d'étudier cette problématique afin de relever le rôle de la blockchain pour renforcer la confiance et son impact dans le cadre organisationnel selon la communauté des chercheurs, d'apercevoir les obstacles de son adoption et enfin dégager les lacunes et les limites des recherches scientifiques et mettre en lumière les points à approfondir dans les recherches futures.

En ce sens, nous avons essayé d'élaborer un document regroupant l'ensemble des connaissances existantes sur la Blockchain dans différents cadres d'applications en suivant la méthode PRISMA, ce qui nous a permis de localiser 29 articles que nous avons par la suite analysés.

Tout d'abord, nous avons effectué une analyse quantitative par date et par type de confiance qui ressort les plus souvent de la littérature notamment la confiance numérique, la confiance sociale et la confiance envers la technologie dans le but d'avoir une idée générale sur l'intérêt des chercheurs concernant la Blockchain.

Ensuite, nous avons réalisé une analyse qualitative en examinant les études de manière plus approfondie dans l'objectif de ressortir explicitement et formellement les exigences de confiance pour la Blockchain pour chaque niveau de l'architecture d'entreprise pour enfin analyser la contribution de cette technologie dans la satisfaction des exigences selon la communauté des chercheurs. D'après les analyses quantitatives et qualitatives effectuées, nous avons constaté que la plupart des études ne révèle pas de façon claire les exigences de confiance soutenue par la Blockchain, de plus, la majorité sont des propositions conceptuelles et théoriques sur la façon dont la Blockchain pourrait être appliquée, ainsi, la plupart des articles ne présentent pas de preuves empiriques et/ou solutions de mise en œuvre pour évaluer les applications Blockchain et percevoir son impact dans les processus métiers des entreprises. Tous ces résultats peuvent fournir des explications concernant les facteurs qui affectent l'adoption de la technologie blockchain.

En outre, nous avons discuté quelques autres idées issues de notre expérience professionnelle dans le cadre de notre alternance, citons le manque de POC et de retours d'expériences, les coûts d'investissement vis à vis des avantages de la Blockchain, complexité et compatibilité technique pour

la mise en place de cette technologie, et surtout le manque de standards et des normes officiel qui provoquent des incertitudes envers la Blockchain par les grandes entreprises.

Par conséquent, dans les travaux futurs nous recommandons que les chercheurs scientifiques mènent des recherches plus approfondies pour montrer de manière plus claire l'impact de la Blockchain dans différents cadres organisationnels, plus précisément, qu'ils se concentrent sur l'exposition des exigences de confiance auxquels la Blockchain peut satisfaire, mais aussi il est intéressant de mettre en œuvre des solutions basé sur la blockchain puisqu'ils sont peu évoqué jusqu'à présent, d'analyser les résultats obtenus, d'effectuer une validation des solutions par rapport à la conformité des exigences avec des pratiques réels des entreprises.

## Bibliographie

---

1. **Waheeb Ahmed, Wu Di, Daniel Mukathe.** Privacy-preserving blockchain-based authentication and trust management in VANETs. May 2022.
2. **Marcel Müller, Sandro Rodriguez Garzon, Michael Rosemann, Axel Küpper.** Towards Trust-Aware Collaborative Business Processes: An Approach to Identify Uncertainty. 2020.
3. **Holbrook, Joseph.** *Architecting Enterprise Blockchain Solutions.* 2020.
4. **KAMAKSHI GUPTA, ANJALI SAM.** Blockchain in Operations Management . 2019.
5. **Kavita Saini, Pethuru Chelliah, Deepak Saini.** *Essential Enterprise Blockchain Concepts and Applications.* June 2021.
6. **Nazila Gol Mohammadi, Nelufar Ulfat-Bunyadi, Maritta Heisel.** Problem-based Derivation of Trustworthiness Requirements from Users' Trust Concerns. August 2018.
7. **Blobel, Pekka Ruotsalainen and Bernd.** Health Information Systems in the Digital Health Ecosystem—Problems and Solutions for Ethics, Trust and Privacy. May 2020.
8. **Rania El-Gazzar, Daniel Cabrera, Taro Ueno, Catarina Reis, and Tsung-Ting Kuo.** Blockchain for Increased Trust in Virtual Health Care: Proof-of-Concept Study. Jul 2021.
9. **INTERNATIONAL STANDARD, ISO/IEC/ IEEE 29148.** Systems and software engineering — Life cycle processes — Requirements. 2011.
10. **Ivica KANIŠKI, Ivan VINCEK.** Business processes as business systems. 2018.
11. **Software Engineering Group, School of Computer Science and Mathematics Keele University, UK and Department of Computer Science University of Durham Durham,UK.** Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in. 2007.
12. **Marcel Müller, Nadine Ossterne, Sandro Rodriguez Garzon? Axel Küpper.** Engineering Trust-aware Decentralized Applications with Distributed Ledgers. December 2020.
13. **Mabrook S. Al-Rakhami, Majed Al-Mashari.** A Blockchain-Based Trust Model for the Internet of Things Supply Chain Management. 2021.
14. **MARCEL MÜLLER, NADINE OSTERN, DENIS KOLJADA, KAI GRUNERT, MICHAEL ROSEMAN, AXEL KÜPPER.** Trust Mining: Analyzing Trust in Collaborative Business Processes. 2021.
15. **Abdullah Albizri, Deniz A Appelbaum.** Trust but Verify: The Oracle Paradox of Blockchain Smart Contracts. March 2021.
16. **Marcel Muller, Nadine Ostern, and Michael Rosemann.** Silver Bullet for all Trust Issues? Blockchain-based Trust Patterns for Collaborative Business Processes. July 2020.
17. **Marina Harlamova, Marite Kirikova.** Towards the Trust Handling Framework for Industry 4.0. 2019.
18. **Xiaohuan Wang, Qingcheng Hu, Yong Zhang, Guigang Zhang, Wan Juan & Chunxiao Xing.** A Kind of Decision Model Research Based on Big Data and Blockchain in eHealth. *Web Information Systems and Applications.* 2018, pp. 300–306.
19. **Marco Autili, Francesco Gallo, Paola Inverardi, Claudio Pompilio, Massimo Tivoli.** Introducing Trust in Service-Oriented Distributed Systems through Blockchain. October 2019.

20. **Rosemann, Michael.** Trust-Aware Process Design. July 2019.
21. **Haihan Duan, Jiaye Li, Sizheng Fan, Zhonghao Lin, Xiao Wu, Wei Cai.** Metaverse for Social Good: A University Campus Prototype. Aug 2021.
22. **D Ivanov, P Pashkov.** A blockchain-based approach to providing technically expressed trust in the supply chains of the fashion industry. October 2021.
23. **Sarah M. Meeßen, Meinald T. Thielsch, and Guido Hertel.** Trust in Management Information Systems (MIS). December 2019.
24. **Wattana Viriyasitavat, Li Da Xu, Zhuming Bi & Assadaporn Sapsomboon.** Blockchain-based business process management (BPM) framework for service composition in industry 4.0. October 2018.
25. **Jun Xiao, Yi Jiao, Yin Li, Zhujun Jiang.** Towards a Trusted and Unified Consortium-Blockchain-Based Data Sharing Infrastructure for Open Learning—ToIFobArchitecture and Implementation. December 2021.
26. **Heisel, Nazila Gol Mohammadi and Maritta.** A Framework for Systematic Refinement of Trustworthiness Requirements. April 2017.
27. **Jan Mendling, Ingo Weber, Wil Van Der Aalst, Jan Vom Brocke, Cristina Cabanillas, Florian Daniel, Søren Debois, Claudio Di Ciccio, Marlon Dumas, ...** Blockchains for Business Process Management - Challenges and Opportunities. March 2018.
28. **Kofi Osei-Tutu, Shirin Hasavari, Yeong-Tae Song.** *Blockchain-based Enterprise Architecture for Comprehensive Healthcare Information Exchange (HIE) Data Management.* December 2020.
29. **Hritik Sateesh, Pavol Zavorsky.** State-of-the-Art VANET Trust Models: Challenges and Recommendations. November 2020.
30. **Dave E. Marcial, Markus A. Launer.** Towards the Measurement of Digital Trust in the Workplace: A Proposed Framework. December 2019.
31. **Si Chen, Rui Shi, Zhuangyu Ren, Jiaqi Yan, Yani Shi, Jinyu Zhang.** A Blockchain-Based Supply Chain Quality Management Framework. November 2017.
32. **Zhao, Ruixue.** An Empirical Analysis of Supply Chain BPM Model Based on Blockchain and IoT Integrated System. Sep 2019.
33. **Zhiliang Deng, Yongjun Ren, Yepeng Liu, Xiang Yin.** Blockchain-Based Trusted Electronic Records Preservation in Cloud Storage. January 2019.