

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université A.Mira de Bejaia  
Faculté des sciences exactes  
Département Informatique



جامعة بجاية  
Tasdawit n Bgayet  
Université de Béjaïa

Mémoire de fin de cycle  
En vue de l'obtention du diplôme de master de recherche en Informatique  
Option : Système d'Information Avancé

Thème :

**Transformation des pratiques métiers par  
l'intégration de l'internet des objets et la blockchain  
Cas d'études : Supply chain**

Réalisé par :

*M<sup>lle</sup> CHOULAK Asma*

*Soutenu le 02 juillet 2023, Devant le jury composé de :*

|                         |                      |                       |
|-------------------------|----------------------|-----------------------|
| M. Sofiane AISSANI :    | Université de béjaia | - <b>Président</b>    |
| M. Redouane OUZEGGANE : | Université de béjaia | - <b>Examinateur</b>  |
| M. Kamal AMROUNE :      | Université de béjaia | - <b>Encadrant</b>    |
| M. Nadim ELSAKAAN :     | Université de béjaia | - <b>Co-Encadrant</b> |

Année universitaire : 2022/2023

# Remerciements

S'il faut beaucoup de motivation, de rigueur et d'enthousiasme pour mener à bien ce mémoire, alors ce travail a eu besoin de la contribution de plusieurs personnes, que je tiens à remercier !

Mais avant tout, je tiens à remercier DIEU le tout puissant de m'avoir donné la santé, la volonté et le courage durant ces longues années d'étude.

Un grand merci à mon encadrant, Monsieur EL-SAKAAN Nadim pour ses orientations, son aide et son écoute active.

Je remercie vivement les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail.

J'adresse également ma profonde reconnaissance à mes chers oncles et ma tante Lynda qui répondent toujours présents à mes besoins.

Enfin, Merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'achèvement de ce travail.

*Asma*

# Dédicaces

*Je dédie le fruit de mes 22 ans d'études à :*

Mes chers parents qui m'ont inculqué dès mon jeune âge l'importance et le plaisir des études. Aucun mot ne saurait exprimer mon respect, mon amour et ma considération pour leurs sacrifices. Merci pour votre confiance.

Puisse dieu vous garder, protéger et vous rendre fier de moi.

A ma sœur, mon frère, tous mes chers oncles et tantes et leurs conjoints et ma très chère Mamie pour leur amour inconditionnel et soutien. Je vous adore.

A ma personne préférée, ma meilleure amie Letycia pour son écoute, amour et encouragement.

A tous mes précieux amis.

A moi sans qui rien n'aurait pu se réaliser. We did it!

Tous ceux qui m'ont soutenue de près ou de loin.

*Asma*

# Table des matières

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Remerciements</b>   | <b>2</b>  |
| <b>Dédicaces</b>   | <b>3</b>  |
| <b>Liste des tableaux</b>  | <b>6</b>  |
| <b>Table des figures</b>   | <b>7</b>  |
| <b>Liste des abréviations</b>  | <b>8</b>  |
| <b>Introduction générale</b>   | <b>9</b>  |
| <b>1 Généralités</b>   | <b>12</b> |
| 1.1 Introduction . . . . .   | 12        |
| 1.2 Les systèmes d'informations . . . . .  | 13        |
| 1.2.1 Définition d'un système d'information . . . . .                            | 13        |
| 1.2.2 Missions d'un système d'informations . . . . .                             | 14        |
| 1.2.3 Composants des systèmes d'informations . . . . .                           | 15        |
| 1.2.4 Rôle du système d'information dans la chaîne d'approvisionnement . . . . . | 16        |
| 1.3 l'internet des objets . . . . .  | 18        |
| 1.3.1 Définition de l'internet des objets . . . . .                              | 18        |
| 1.3.2 Notion d'objets connectés . . . . .  | 19        |
| 1.3.3 Architecture de l'Iot . . . . .  | 20        |
| 1.3.4 Applications de l'internet des objets . . . . .                            | 21        |
| 1.4 La blockchain . . . . .  | 23        |
| 1.4.1 Définition de la blockchain . . . . .                                      | 23        |
| 1.4.2 Fonctionnement de la blockchain . . . . .                                  | 24        |
| 1.4.3 Architecture de la blockchain . . . . .                                    | 25        |
| 1.4.4 Conclusion . . . . .   | 26        |
| <b>2 Revue de la littérature</b>   | <b>27</b> |
| 2.1 Introduction . . . . .   | 27        |
| 2.2 Littérature des travaux existants . . . . .                                  | 27        |
| 2.2.1 Transport . . . . .  | 28        |
| 2.2.2 Gestion de stock . . . . .   | 29        |
| 2.2.3 Chaîne logistique . . . . .  | 30        |
| 2.2.4 Chaîne de production . . . . .   | 31        |
| 2.3 Etude comparative des travaux existants . . . . .                            | 32        |
| 2.4 Conclusion . . . . .   | 33        |
| <b>3 Solution proposée</b>   | <b>35</b> |
| 3.1 Introduction . . . . .   | 35        |
| 3.2 Eléments fondamentaux de notre système . . . . .                             | 36        |
| 3.3 Hypothèses . . . . .   | 36        |
| 3.4 Architecture de la proposition . . . . .                                     | 36        |
| 3.4.1 Composants architecturaux de notre système . . . . .                       | 37        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 3.5      | Phases de la proposition . . . . .                  | 39        |
| 3.5.1    | Enregistrement . . . . .                            | 39        |
| 3.5.2    | Rapport des activités à l'AMA . . . . .             | 40        |
| 3.5.3    | Evaluation . . . . .                                | 42        |
| 3.6      | Conclusion . . . . .                                | 44        |
| <b>4</b> | <b>Résultats expérimentaux et discussion</b>        | <b>45</b> |
| 4.1      | Introduction . . . . .                              | 45        |
| 4.2      | Implémentation . . . . .                            | 45        |
| 4.2.1    | Matériel utilisé . . . . .                          | 45        |
| 4.2.2    | Langage de programmation et bibliothèques . . . . . | 46        |
| 4.2.3    | Données utilisées pour la simulation . . . . .      | 46        |
| 4.3      | Résultats et discussion . . . . .                   | 47        |
| 4.4      | Conclusion . . . . .                                | 50        |
|          | <b>Conclusion générale et perspectives</b>          | <b>51</b> |
|          | <b>Résumé</b>                                       | <b>54</b> |
|          | <b>Bibliographie</b>                                | <b>56</b> |

# Liste des tableaux

|  |    |
|--|----|
| 2.1 Synthèse des travaux étudiés. . . . .  | 33 |
| 4.1 Caractéristiques du matériel . . . . . | 45 |

# Table des figures

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1.1 | La supply chain et ses niveaux . . . . .                                  | 17 |
| 1.2 | Applications de l'internet des objets . . . . .                           | 21 |
| 1.3 | Fonctionnement d'une transaction . . . . .                                | 24 |
| 1.4 | Architecture de la blockchain . . . . .                                   | 26 |
| 2.1 | Littérature des travaux existants . . . . .                               | 28 |
| 3.1 | Architecture globale du système . . . . .                                 | 37 |
| 3.2 | Organigramme de validation de blockchain . . . . .                        | 39 |
| 3.3 | Phases d'enregistrement . . . . .   | 40 |
| 3.4 | Rapports des activités par l'AMA . . . . .                                | 41 |
| 3.5 | Phases d'évaluation . . . . .   | 42 |
| 3.6 | Fonctionnement système RFID . . . . .                                     | 43 |
| 4.1 | Echantillon des données de chargement de marchandises de CEVITAL. . . . . | 47 |
| 4.2 | Taux d'occupation des services . . . . .                                  | 48 |
| 4.3 | Taux de services . . . . .  | 48 |
| 4.4 | Evolution des longueurs de files d'attentes . . . . .                     | 49 |
| 4.5 | Evolution des temps d'attentes . . . . .                                  | 49 |
| 4.6 | Evolution des temps d'activités . . . . .                                 | 50 |
| 4.7 | Evolution des durées de flux . . . . .                                    | 50 |

# Liste des abréviations

|                |                                       |
|----------------|---------------------------------------|
| <b>Auto-ID</b> | Auto IDentification                   |
| <b>BDD</b>     | Base de Données                       |
| <b>CL</b>      | Chaine Logistique                     |
| <b>GPRS</b>    | General Packet Radio Services         |
| <b>GPS</b>     | Global Positionning System            |
| <b>IA</b>      | Intelligence Artificielle             |
| <b>IoT</b>     | Internet of Things                    |
| <b>IdO</b>     | Internet des Objets                   |
| <b>ID</b>      | Identifiant                           |
| <b>LCD</b>     | Liquid Crystal Display                |
| <b>LAN</b>     | Local Area Network                    |
| <b>MIT</b>     | Massachusetts Institute of Technology |
| <b>OCE</b>     | Objet Connecté Enrichi                |
| <b>OC</b>      | Objet Connecté                        |
| <b>RAM</b>     | Random Access Memory                  |
| <b>RFID</b>    | Radio Frequency IDentification        |
| <b>RF</b>      | Radio Fréquence                       |
| <b>RFA</b>     | Réseaux de Files d'Attentes           |
| <b>SI</b>      | Système d'Information                 |
| <b>SCOR</b>    | Supply Chain Operations Reference     |
| <b>SGBD</b>    | Système de Gestion de Base de Données |
| <b>WEB</b>     | World W Fidelide ity                  |
| <b>Wi-Fi</b>   | Wireless Fidelity                     |
| <b>WSN</b>     | Wireless Sensor Networks              |
| <b>WAN</b>     | Wide Area Network                     |
| <b>WLAN</b>    | Wireless Local Area Network           |



# Introduction générale

Le monde des entreprises est en constante évolution et la compétition est de plus en plus féroce. Pour rester compétitif et prédire les tendances du marché, de nombreuses entreprises se tournent vers les technologies de l'information pour automatiser les processus, optimiser les coûts, améliorer la productivité et développer de nouveaux produits et services pour répondre aux besoins de leurs clients. Ces technologies jouent un rôle clé dans le monde des entreprises en leur permettant d'être plus agiles.

De nos jours, les systèmes d'information sont considérés comme un élément essentiel de la stratégie commerciale des entreprises, l'évolution de ces systèmes a connu plusieurs étapes clés depuis les années 60, avec les applications de traitement de données des années 60 et 70. Les années 80 et 90 ont vu l'émergence des systèmes de gestion de bases de données (SGBD) et des réseaux informatiques. L'apparition du WEB dans les années 2000 a permis l'accès à des services et applications en ligne ainsi que le développement du Cloud Computing. Plus récemment, l'intelligence artificielle et l'Internet des objets ont ouvert la voie à de nouvelles avancées technologiques, avec l'automatisation de processus et la collecte de données en temps réel.

Les nouvelles technologies comme l'intelligence artificielle, la blockchain et les objets connectés sont déjà en train de modifier la nature même des métiers, accompagnant ainsi la transformation digitale des entreprises ce qui rend la numérisation de la supply chain un élément essentiel de la gestion efficace de la chaîne d'approvisionnement dans le monde actuel qui est axé sur la technologie et la connectivité. Cette transformation numérique est à l'origine de nombreux services dont bénéficie le consommateur actuellement comme les livraisons express et le suivi en temps réel de l'acheminement.

Internet of Things (IoT), est une technologie qui étend la puissance d'internet au-delà des ordinateurs et des smartphones, à toute une série d'autres

éléments. Cette technologie a le potentiel de transformer les industries en fournissant une visibilité accrue, une surveillance en temps réel, une collaboration avec les fournisseurs et les clients et enfin, une automatisation des processus. Les capteurs IoT fournissent des avertissements précoces des situations internes et externes qui nécessitent une résolution permettant ainsi aux entreprises de réagir rapidement aux changements grâce à des opérations internes efficaces.

Aujourd'hui, l'élargissement du marché, l'essor de la digitalisation des services logistiques et l'explosion du e-commerce imposent à la logistique de relever beaucoup de défis allant de la gestion de la chaîne d'approvisionnement mondiale à l'optimisation des opérations. Parmi ces défis, nous citons à titre d'exemple la gestion des risques et maîtrise des coûts liées au transport, répondre aux nouvelles exigences des clients, respecter les réglementations et enfin diminuer la pollution avec la logistique verte.

En se concentrant sur le domaine de l'industrie, on peut dire que c'est un secteur qui bénéficie considérablement de l'intégration de la blockchain et de l'internet des objets (IoT). Le stockage sécurisé grâce à la blockchain, la collecte automatique et en temps réel de données permettent d'optimiser les processus de production et de livraison, de réduire les coûts de maintenance, de minimiser les temps d'arrêt et de mieux gérer les stocks. Par exemple, des capteurs peuvent être installés sur les machines pour surveiller leur état de fonctionnement. Des étiquettes RFID peuvent être utilisées pour suivre en temps réel la localisation et le statut des produits en transit. Cela nous amène à réfléchir comment l'IoT et la blockchain peuvent transformer les pratiques métiers dans l'industrie et la logistique tout en offrant une meilleure visibilité, une meilleure gestion des processus et des coûts réduits ?

Ce mémoire est organisé comme suit :

Le **premier chapitre** est organisé en trois parties, dans la première partie nous allons voir le système d'information, ses missions, ses composants, ses technologies et son rôle dans la chaîne d'approvisionnement, dans la deuxième et troisième partie, nous allons aborder des généralités sur l'Iot et la blockchain.

Le **second chapitre** sera consacré à l'état de l'art, où nous allons décrire quelques travaux dans le domaine accompagnés d'une étude comparative.

Le **troisième chapitre** portera sur la présentation de notre solution proposée et son fonctionnement

Le **quatrième chapitre** contiendra l'implémentation et les résultat de notre solution proposée avec une évaluation de performances.

Enfin nous clôturerons ce mémoire par une conclusion générale qui établira un résumé du projet réalisé et les perspectives d'avenir de ce travail.

# Chapitre 1

## Généralités

### 1.1 Introduction

Les systèmes d'informations ont connu une évolution fulgurante au cours des dernières décennies, notamment avec le développement de la technologie. Grâce aux avancées technologiques telles que le cloud computing, la virtualisation, l'intelligence artificielle et l'Internet des objets (IoT), les systèmes d'informations sont devenus plus agiles, flexibles et évolutifs.

L'IoT est un réseau de dispositifs physiques connectés les uns aux autres et à Internet, qui permettent la collecte et l'échange de données en temps réel et ce, en capturant des événements de l'environnement physique et d'agir sur lui. Cette technologie qui a le potentiel de transformer radicalement les systèmes d'informations, a révolutionné la façon dont les entreprises et les individus interagissent avec leur environnement, en offrant des opportunités inédites pour la collecte de données, l'analyse, l'automatisation et la prise de décision. Dans cet univers en constante évolution, les entreprises doivent être en mesure de comprendre les avantages et les défis des systèmes d'informations et de l'IoT pour rester compétitives.

Dans la première partie de ce chapitre, nous allons définir le système d'information, ses missions, ses composants et son rôle dans la chaîne d'approvisionnement. La deuxième partie, nous allons la consacrer à l'internet des objets, nous commencerons par la définition de l'IoT. Par la suite, nous allons voir la notion d'objets connectés et ses caractéristiques. Nous enchaînerons avec l'architecture de l'IoT et quelques domaines d'applications de cette technologie révolutionnaire. Quant à la troisième partie, nous allons voir la définition de la blockchain, son fonctionnement et son architecture. Enfin, nous clôturons ce chapitre par une

conclusion.

## 1.2 Les systèmes d'informations

Aujourd'hui, les systèmes d'information jouent un rôle crucial dans le fonctionnement et la gestion des organisations modernes. Que ce soit dans le domaine des affaires, de l'éducation, de la santé ou du gouvernement, SI sont devenus des outils essentiels pour recueillir, stocker, traiter et communiquer des informations de manière efficace et fiable.

Les industries bénéficient également de l'apport des systèmes d'information en offrant une gestion efficace de la chaîne d'approvisionnement, un contrôle de la production, une gestion opérationnelle optimisée, un suivi des performances, une innovation continue, une sécurité renforcée et une conformité réglementaire.

### 1.2.1 Définition d'un système d'information

La notion du système d'information est apparue après le développement technologique notamment celui des ordinateurs, de réseau de communication, des logiciels et des progiciels. C'est un concept qui se compose de deux termes important « système » et « information » .

Le mot « système » en grec signifie combiner et rassembler [1]. Ainsi, un système peut être vu comme un ensemble d'éléments interconnectés qui sont combinés et rassemblés pour fonctionner ensemble de manière cohérente, qui interagissent de manière dynamique pour produire des résultats émergents et qui peuvent être influencés par des facteurs internes et externes.

Quant à « l'information », selon HUGUES Angot se définit comme suit : « ce sont des données ayant été converties sous une forme qui répond aux besoins d'utilisateurs en leur apportant une connaissance »[2]. D'une autre manière, l'information est une représentation structurée de données ou de connaissances qui sont communiquées ou transmises à des fins diverses. Elle peut être exprimée sous différentes formes, telles que des données, des textes, des images, des sons, etc., et peut être stockée et traitée.

D'où, un système d'information peut être défini comme un écosystème dynamique, constitué d'un réseau de personnes, de technologies et de processus, qui fonctionne de manière interconnectée pour faciliter la collecte, le traitement, la

gestion et la distribution des données et des connaissances pertinentes pour l'organisation. Il s'agit d'un système adaptatif qui évolue constamment en fonction des changements internes et externes de l'entreprise, des nouvelles technologies et des exigences de l'environnement commercial.

Un SI permet non seulement d'optimiser les opérations commerciales, mais également de stimuler l'innovation, la créativité et la collaboration, tout en garantissant une utilisation efficace et éthique des données. En somme, le système d'information est un levier essentiel pour créer de la valeur ajoutée, améliorer la qualité de vie des employés et répondre aux défis de la société. [3]

### **1.2.2 Missions d'un système d'informations**

Aujourd'hui grâce à la technologie, les entreprises peuvent répondre de manière plus efficace aux besoins existants des consommateurs connectés ou même répondre à de nouveaux besoins, donc se doter d'un SI innovant et puissant joue un rôle crucial au sein d'une organisation. Les missions d'un système d'information sont multiples et peuvent varier en fonction des objectifs et des besoins de l'organisation, nous citons dans ce qui suit quelques-unes des missions principales :

#### **1.2.2.1 Collecte et stockage de données :**

La collecte et le stockage des données sont des éléments clés pour le bon fonctionnement d'une entreprise. En effet, une entreprise génère de grandes quantités de données à partir de ses activités quotidiennes, telles que les ventes, les achats, les opérations de production, etc. La collecte de ces données est essentielle pour comprendre les performances de l'entreprise et identifier les opportunités d'amélioration. Le stockage des données est également un élément essentiel de la gestion des informations. Donc un SI doit être capable de collecter et stocker les données générées par les différents processus de l'organisation afin de restituer l'information à la bonne personne et au bon moment sous le format approprié.

#### **1.2.2.2 Traitement de données :**

Une fois que les données sont collectées et stockées, elles doivent être traitées en transformant les données brutes en informations exploitables et utiles pour la prise de décision. Le traitement de données peut impliquer des opérations telles que l'analyse de données, la manipulation de données, la transformation de données, la consolidation de données, la visualisation de données, etc.

### 1.2.2.3 Sécurité des données :

La sécurité des données est une préoccupation majeure pour toute entreprise qui utilise un système d'information. Les données stockées dans un système d'information peuvent inclure des informations confidentielles, telles que des informations financières, des informations clients, des secrets commerciaux ou des informations de propriété intellectuelle. Par conséquent, la protection de ces données est donc essentielle pour chaque entreprise. Elle peut être assurée par la mise en place de mesures de sécurité appropriées, telles que la sauvegarde régulière des données et l'utilisation de technologies de chiffrement.

### 1.2.2.4 Améliorer la prise de décision :

Le système d'information est un outil essentiel pour les gérants des entreprises. Il fournit des informations précieuses, à jour et pertinentes aux managers et permet d'automatiser certaines tâches ce qui accélère le processus décisionnel et facilite le processus de prise de décisions au niveau du management de l'entreprise. Les tableaux de bord et les rapports permettent de présenter les informations de manière claire et concise, ce qui aidera les organisations à identifier les tendances, les opportunités, les défis et les problèmes possibles à l'avenir.

### 1.2.2.5 Création de la valeur ajoutée :

Un SI bien conçu et bien implémenté peut apporter de nombreux avantages à une entreprise, il permet d'améliorer l'efficacité opérationnelle en automatisant les tâches répétitives et en réduisant les erreurs humaines. Cela permet aux employés de se concentrer sur des tâches à plus forte valeur ajoutée, ce qui améliore leur productivité et leur efficacité. Un de ces avantages se traduit par une création de valeur ajoutée pour l'entreprise et ses parties prenantes, ce qui contribue à sa croissance et à sa réussite à long terme.

## 1.2.3 Composants des systèmes d'informations

Un système d'information met en coopération différents types de ressources, dont notamment :

- **Les données** : Ce sont les éléments d'information bruts qui sont collectés par le SI. Ces données peuvent prendre différentes formes, telles que des chiffres, des textes, des images, des vidéos, etc.
- **Les personnes** : Ce sont les utilisateurs du SI qui collectent, traitent et diffusent les données et les informations. Les personnes peuvent inclure des

employés de l'entreprise, des clients, des fournisseurs, des partenaires commerciaux, etc.

- **Le matériel informatique** : Ce sont les composants physiques tels que les ordinateurs, les serveurs, les disques durs, les imprimantes, les scanners, etc., qui sont utilisés pour stocker, traiter et transmettre les données.
- **Les réseaux** : Ce sont les infrastructures de communication qui permettent aux différents composants du SI de se connecter et de communiquer entre eux. Les réseaux peuvent inclure des réseaux locaux (LAN), des réseaux étendus (WAN), des réseaux sans fil (WLAN), etc.
- **Les logiciels** : Ce sont les programmes informatiques qui permettent de traiter les données et de les transformer en informations utiles. Les logiciels peuvent inclure des systèmes d'exploitation, des applications de bureautique, des logiciels de gestion de base de données, des applications métier spécialisées, etc.
- **Les procédures** : Ce sont les règles et les processus qui régissent la collecte, le traitement et la diffusion des données et des informations. Les procédures peuvent inclure des politiques de sécurité, des procédures de sauvegarde, des règles de gestion de projet, etc.

#### 1.2.4 Rôle du système d'information dans la chaîne d'approvisionnement

Au fil des ans, la plupart des entreprises ont concentré leur attention sur l'optimisation des performances des fonctions distinctes telles que les achats, la production, la commercialisation, le financement et la logistique. Cependant, le manque de connectivité entre ces fonctions peut créer une inefficacité en dupliquant les efforts et les ressources de l'entreprise.

D'autre part, les chaînes d'approvisionnement opèrent dans un environnement qui évolue constamment en raison de nombreux facteurs ce qui mène les entreprises à prendre conscience de l'importance stratégique de la planification et du contrôle. Par conséquent, le système d'information joue un rôle central dans la gestion efficace de la chaîne d'approvisionnement. En intégrant les systèmes d'informations dans la supply Chain, les entreprises gagnent en efficacité, agilité et en capacité d'offrir un meilleur service à leurs clients.

#### Qu'est-ce qu'une chaîne d'approvisionnement ?



Une chaîne d'approvisionnement, appelé aussi supply Chain est un réseau d'organisations, de personnes, d'activités, de ressources et de technologies impliquées dans la création et la livraison d'un produit ou d'un service depuis l'acquisition de matières premières auprès des fournisseurs jusqu'au consommateur final qui est le client [4].

Avec le temps, la gestion des chaînes d'approvisionnement devient plus complexe et risquée. Pour la rendre plus commode face aux défis croissants on se réfère au modèle SCOR (Supply Chain Operations Reference) qui est un outil de diagnostic standard pour la gestion de la Supply Chain. Il fournit un ensemble de processus et pratiques pour aider les entreprises à améliorer leurs opérations de la chaîne d'approvisionnement. la figure suivante résume les différents niveaux de la chaîne logistique :

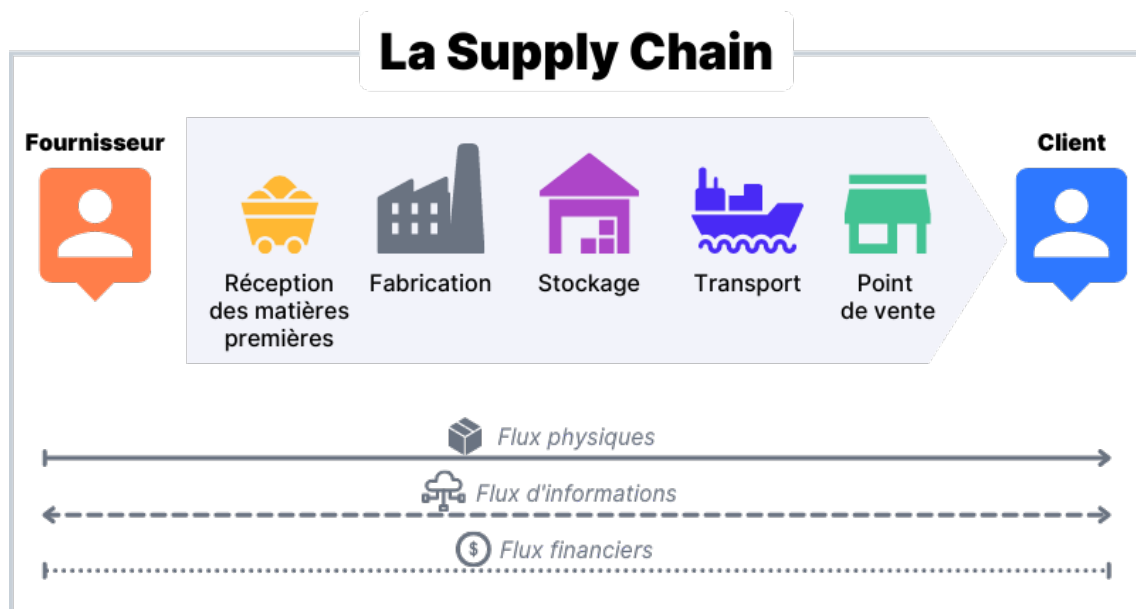


FIGURE 1.1 – La supply chain et ses niveaux

Selon le modèle **SCOR**, la chaîne d'approvisionnement est divisée en 5 processus [5] :

- **Planifier** : C'est un processus qui permet la création d'un plan stratégique pour la chaîne d'approvisionnement. Il implique la définition des objectifs, la prévision de la demande, l'optimisation des ressources et la prise de décisions pour atteindre les objectifs fixés.
- **Approvisionner** : Une chaîne d'approvisionnement performante planifie stra-

tégalement ses activités d'approvisionnement tout au long de la supply Chain. Ce processus gère l'approvisionnement. Il comprend l'évaluation des fournisseurs, la négociation des contrats, la gestion des relations avec les fournisseurs, la gestion des stocks et la gestion des risques liés à l'approvisionnement.

- **Fabriquer** : Ce processus fait référence aux activités liées à la transformation des matières premières en produits finis ou semi-finis en garantissant une production efficace, de haute qualité et conforme aux exigences spécifiques de l'entreprise et surtout maximiser la satisfaction des clients.
- **Livrer** : Quand à ce processus, il permet de gérer la logistique et la distribution des produits finis aux clients.
- **Gérer les retours** : Enfin, ce processus gère les activités liées à la gestion des retours de produits ou de services défectueux, endommagés ou non conformes. En optimisant ce processus, les organisations peuvent réduire les coûts liés aux retours, améliorer la qualité de leurs produits et renforcer la confiance de leurs clients.

### 1.3 l'internet des objets

Le monde physique se transforme en étant numérisé et rend tout connecté. L'explosion des appareils et des technologies intelligentes a permis à l'humanité d'être en communication constante n'importe où et n'importe quand. L'Internet des objets, qui est l'une de ces technologies, nous offre une nouvelle dimension d'efficacité, de contrôle et de création de valeur en connectant les objets physiques à Internet, leur permettant de collecter des données, de communiquer et d'agir intelligemment.

#### 1.3.1 Définition de l'internet des objets

L'Internet des Objets, communément appelé en anglais Internet of Things (IoT), cette technologie qui envahi notre quotidien de plus en plus a été inventé par Kevin Ashton, co-fondateur du laboratoire Auto-ID du MIT lors d'une présentation pour l'entreprise Proctor & Gamble (P&G) en 1999 [6]. L'Internet des Objets ou IdO est la matérialisation d'Internet dans le monde réel en permettant à tous les objets reliés à un réseau Internet physique par une puce électronique, un capteur, une connectivité de communiquer entre eux, de collecter et d'échanger des données [7].

Selon l'union internationale des télécommunications, l'IdO est défini comme une infrastructure mondiale pour la société de l'information, qui permet de disposer de services évolués en interconnectant des objets (physiques ou virtuels) grâce aux technologies de l'information et de la communication interopérables existantes ou en évolution.

En se concentrant sur le domaine de l'industrie, on peut définir l'internet des objets comme un réseau d'objets physiques qui sont connectés numériquement pour détecter, surveiller et interagir au sein d'une entreprise et entre l'entreprise et sa chaîne d'approvisionnement permettant l'agilité, la visibilité, le suivi et le partage d'informations pour faciliter la planification, le contrôle et la coordination en temps opportun du processus de la chaîne d'approvisionnement [8].

### 1.3.2 Notion d'objets connectés

Les objets connectés (OC) sont des dispositifs physiques équipés de capteurs, d'actionneurs et de modules de communication sans fil qui leur permettent de collecter, de stocker, de traiter et de communiquer des données avec d'autres objets connectés et des systèmes informatiques à grande échelle. Les objets connectés sont interconnectés au moyen de réseaux de communication sans fil, de protocoles de communication standardisés et de plateformes logicielles adaptées, et sont utilisés pour surveiller et contrôler des processus en temps réel, pour recueillir des données sur l'environnement et les utilisateurs, pour fournir des services intelligents et pour améliorer la qualité de vie des personnes [6].

L'intégration d'une connexion Internet à un OC permet de l'enrichir en terme de fonctionnalité, d'interaction avec son environnement, il devient un OC Enrichi (OCE). Un objet connecté doit être adopté à un usage, il a une certaine forme d'intelligence, une capacité de recevoir et de transmettre des données avec des logiciels grâce aux capteurs embarqués.

Parmi les caractéristiques qui distinguent les objets connectés des autres dispositifs traditionnels on trouve :

- **Capteurs** : Les capteurs sont des dispositifs qui détectent les changements physiques ou chimiques de l'environnement et les transforment en des données numériques et les convertissent en signaux électriques. Les objets connectés sont équipés des capteurs qui leur permettent de mesurer et de collecter des données sur l'environnement ou sur l'utilisation de l'objet.

- **Connectivité** : Les objets connectés sont connectés à Internet, à d'autres appareils ou à une infrastructure d'un ou plusieurs réseaux IoT, leur permettant de collecter et d'échanger des données en temps réel.
- **Mémoire** : La mémoire permet de stocker les données collectées par l'OC, ainsi que les paramètres de configuration et les programmes d'application
- **Module de communication** : Le module de communication permet à l'objet connecté de se connecter à Internet ou à d'autres appareils, en utilisant des technologies sans fil telles que le Wi-Fi, le Bluetooth, le Zigbee, ou encore le 5G.
- **Contrôle à distance** : à l'aide d'applications mobiles, de sites Web ou de commandes vocales les objets connectés peuvent être contrôlés à distance pour fournir des fonctionnalités spécifiques.

### 1.3.3 Architecture de l'Iot

De point de vue architectural, l'architecture de l'IoT décrit la manière dont les différents composants d'un système IoT sont connectés et communiquent entre eux, elle est constituée de plusieurs couches, chacune ayant un rôle spécifique dans le processus de communication et de traitement des données. Elle se compose généralement de quatre couches principales, qui sont [9] :

- **Couche détection** : c'est la couche responsable de la capture de données et la transmission aux autres couches de l'architecture IoT. Elle comprend les capteurs qui détectent et mesurent des grandeurs physiques provenant de l'environnement réel et les actionneurs qui permettent d'effectuer des actions physiques en réponse aux données collectées.
- **Couche réseau** : cette couche prend en charge le transfert d'informations via un réseau câblé ou sans fil. Elle comprend les technologies de communication qui permettent aux objets de communiquer entre eux et avec le Cloud qui garantit le stockage et le traitement de données massif qui proviennent de la couche détection.
- **Couche middleware** : c'est la couche responsable de la gestion des services offerts par les dispositifs IoT et de leur mise à disposition pour les applications de la couche application. Elle fournit également des services supplémentaires tels que l'authentification, la sécurité et la gestion des données.
- **Couche application** : quant à cette couche, elle est responsable de la gestion des interactions entre les utilisateurs et les dispositifs IoT, ainsi que de la

communication des données entre les différentes couches de l'architecture IoT pour fournir des services aux utilisateurs via une technologie middleware.

### 1.3.4 Applications de l'internet des objets

L'Internet des objets (IoT) est une technologie en constante évolution qui offre de nombreuses applications dans de nombreux domaines. Cette technologie est en train de révolutionner de nombreux secteurs en offrant des solutions innovantes pour répondre aux défis actuels et futurs de notre société. Dans ce qui suit, nous citons quelques exemples d'applications [10] :



FIGURE 1.2 – Applications de l'internet des objets

- **Domaine de la santé** : L'Iot peut être utilisé pour surveiller à distance la santé des patients, grâce à des capteurs portables, des dispositifs de suivi de la condition physique, des applications de santé mobiles, etc. Ces dispositifs peuvent collecter des données sur la fréquence cardiaque, la pression artérielle, la glycémie, le sommeil, l'activité physique, etc., et les transmettre en temps réel à un médecin ou à un infirmier. Cela permet une surveillance continue de l'état de santé des patients, réduisant les hospitalisations et les visites inutiles aux urgences.
- **Industrie 4.0** : L'IoT est l'une des technologies fondatrices de l'Industrie 4.0 qui fait référence à la 4ème révolution industrielle. Elle permet la collecte en temps réel de données sur les processus de production, les machines et les équipements. Grâce à des capteurs connectés et des systèmes de surveillance

qui peuvent surveiller la qualité des matières premières, des produits semi-finis et des produits finis. Cela permet d'identifier rapidement les défauts et les problèmes de qualité, ce qui peut réduire les gaspillages et améliorer la satisfaction des clients [11].

- **Ville intelligente** : Les villes intelligentes utilisent les technologies de l'IoT pour connecter les objets et les systèmes qui composent la ville afin de les rendre plus efficaces, plus sûrs et plus durables. Les capteurs IoT peuvent être installés dans toute la ville pour collecter des données en temps réel sur une variété de facteurs tels que la circulation, la qualité de l'air, la consommation d'énergie, la gestion des déchets, les niveaux de bruit, la sécurité et bien plus encore. Ces données peuvent être utilisées pour aider ces villes à prendre des décisions éclairées sur la gestion de la ville, à anticiper les problèmes et à réduire les coûts.
- **Agriculture 2.0** : L'agriculture 2.0 fait référence à l'utilisation de technologies avancées telles que l'IoT. Elle est utilisée pour aider les agriculteurs à améliorer la productivité, à réduire les coûts et à optimiser l'utilisation des ressources. Les systèmes IoT agricoles utilisent des capteurs, des drones, des robots et des systèmes de communication sans fil pour collecter et analyser des données sur les conditions environnementales et les cultures, permettant ainsi une gestion plus précise et plus efficace de l'agriculture.
- **Voiture intelligente** : appelé aussi voiture connectée, ce sont des véhicules équipés de capteurs, d'ordinateurs et de logiciels avancés qui leur permettent de communiquer avec d'autres véhicules, avec l'environnement routier et avec des systèmes de gestion à distance. L'utilisation de l'iot dans ces voitures contribue à rendre la conduite plus sûre, plus efficace et plus agréable pour les conducteurs et les passagers.
- **Logistique intelligente** : Comme dans l'industrie, la logistique utilise de plus en plus l'IoT pour améliorer l'efficacité et la précision des opérations logistiques. Cette technologie innovante permet de suivre en temps réel l'emplacement et l'état des marchandises tout au long de la chaîne d'approvisionnement en installant des capteurs sur les palettes, les conteneurs et les véhicules de transport pour surveiller leur température, leur humidité, leur pression et d'autres paramètres importants. Ces données peuvent ensuite être transmises à des systèmes de gestion de la chaîne d'approvisionnement pour une meilleure planification des opérations logistiques et détection rapide des problèmes éventuels. La logistique intelligente augmente la transparence des

processus logistiques et permet une prise de décision plus éclairée [12].

## 1.4 La blockchain

La complexité des opérations logistiques, impliquant différents acteurs, itinéraires et modes de transport met le domaine de la logistique et de la supply Chain face à de nombreux défis tels que la visibilité limitée, la traçabilité insuffisante, les retards, les erreurs de livraison et les problèmes de conformité. De plus, le manque de standardisation des données et de collaboration entre les différents partenaires complique la consolidation des informations pour obtenir une vue transparente. L'opacité des tiers fournisseurs et la protection des données sensibles sont également des obstacles à la transparence.

Cependant, l'adoption de technologies telles que la blockchain, l'IoT et l'IA peut contribuer à résoudre ces défis et à améliorer la transparence, tout en renforçant l'efficacité globale de la logistique et de la chaîne d'approvisionnement [13].

### 1.4.1 Définition de la blockchain

Le concept de la blockchain a été introduit pour la première fois dans le document intitulé "Bitcoin : A Peer-to-Peer Electronic Cash System" publié en 2008 par Satoshi Nakamoto. La blockchain était initialement conçue comme une technologie de base pour soutenir la crypto monnaie Bitcoin. Depuis lors, la blockchain est devenue plus largement utilisée et s'est étendue pour désigner une technologie qui peut être appliquée à d'autres domaines en dehors des crypto monnaies tels que la logistique et la finance [14].

La blockchain, ou chaîne de blocs en français est une technologie de stockage et de transmission, elle peut être définie comme un système décentralisé, distribué et sécurisé utilisant des algorithmes cryptographiques pour enregistrer et vérifier de manière transparente les transactions et les informations au sein d'un réseau en permettant la conservation de l'historique de tous les échanges effectués entre ses acteurs [15].

C'est une structure de données numériques composée de blocs contenant des données et des informations liées, chaque bloc étant lié au bloc précédent de manière chronologique, formant ainsi une chaîne de blocs, d'où le terme 'block' - 'Chain'. Cette technologie permet de créer un registre immuable et inviolable, où

chaque participant du réseau dispose d'une copie de la blockchain et peut vérifier l'intégrité des transactions sans nécessiter d'intermédiaire centralisé.

### 1.4.2 Fonctionnement de la blockchain

La blockchain se compose de plusieurs éléments clés. Pour pouvoir comprendre et assimiler le fonctionnement de la blockchain nous allons citer en particulier les blocs, les nœuds et les mineurs [16] :

**Les blocs** sont des unités de base qui contiennent l'ensemble des transactions et données. Ils sont liés entre eux de manière chronologique, formant ainsi une chaîne de blocs.

**Les nœuds** sont les ordinateurs ou les dispositifs participant au réseau de la blockchain. Chaque nœud dispose d'une copie complète de la blockchain et participe au processus de validation des transactions et de maintien de la cohérence de la blockchain. Les nœuds peuvent être des mineurs, des validateurs ou simplement des observateurs du réseau.

**Les mineurs** sont des acteurs particuliers dans une blockchain qui sont responsables de la création de nouveaux blocs et de la validation des transactions bloc par bloc. Ils utilisent des ressources informatiques pour résoudre des problèmes mathématiques complexes dans leurs processus. Ils jouent un rôle crucial dans la sécurité et l'intégrité de la blockchain.

Le fonctionnement d'une transaction peut schématiquement être décrit par la figure suivante :

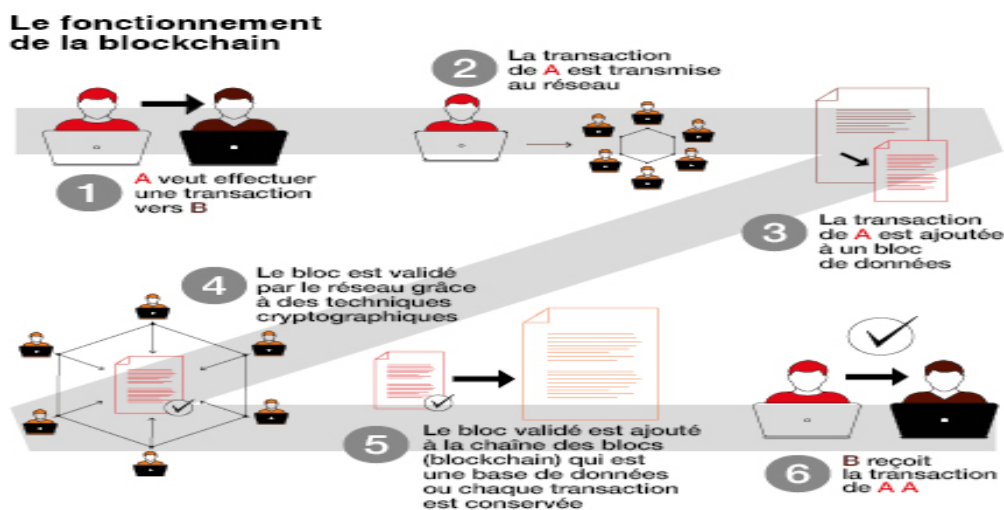


FIGURE 1.3 – Fonctionnement d'une transaction



- **Création du bloc initial** : La blockchain démarre par la création du bloc initial qui est généralement prédéfini et ne contient aucune transaction.
- **Ajout de transactions** : Les utilisateurs soumettent des transactions (1) qui sont transmises au réseau de la blockchain (2), puis enregistrées dans un bloc de données (3).
- **Validation des transactions** : Pour être valide, chaque transaction doit être signée, au sens cryptographique du terme en utilisant la cryptographie asymétrique (clé privée, clé publique). Ensuite les mineurs vérifient la validité de la transaction en utilisant la clé publique de cet utilisateur (4).
- **Création d'un nouveau bloc** : Une fois qu'un certain nombre de transactions ont été validées, un nouveau bloc est créé par les mineurs.
- **Ajout du bloc à la blockchain** : Après cette étape, le bloc est ajouté à la blockchain (5).
- **Diffusion et mise à jour** : La transaction est transmise (6). Tous les nœuds sont notifiés et mettent à jour leur copie de la blockchain pour refléter le nouvel état du réseau.
- **Répétition du processus** : Ces étapes, à partir de l'ajout de la transaction sont itératives et se répètent à mesure que de nouvelles transactions sont ajoutées à la blockchain en offrant ainsi des avantages tels que la traçabilité, la sécurité et la confiance dans divers domaines d'application notamment le domaine de la supply Chain.

### 1.4.3 Architecture de la blockchain

L'architecture de la blockchain est structurée en différentes couches. Chaque couche remplit un rôle spécifique et interagit avec les autres couches pour assurer le fonctionnement global du système. La figure suivante représente le modèle en couches [17] :

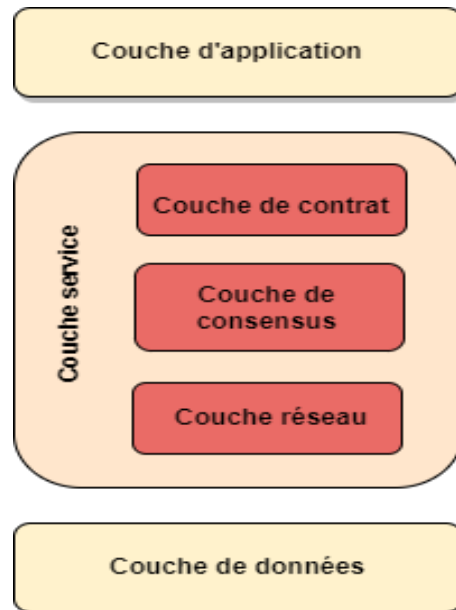


FIGURE 1.4 – Architecture de la blockchain

Alors que **la couche application** permet l'interaction avec les utilisateurs et la programmation d'applications spécifiques via des interfaces dédiées, le cœur de la blockchain réside dans **la couche opérationnelle** qui se décompose en trois sous-couches à savoir **la couche de contrat** qui contient les contrats intelligents décrivant la manière dont les transactions peuvent être effectuées, **la couche de consensus** qui est responsable de la coordination du processus de consensus utilisés par les nœuds pour valider un ajout de blocs et enfin **la couche réseau** qui gère la communication entre les nœuds de la blockchain en assurant le routage des messages, la synchronisation des blocs et la diffusion des transactions dans le réseau. Au niveau de **la couche de données**, nous pouvons trouver des blocs de données purs avec les transactions incluses. Cette couche est responsable du stockage et de la gestion des données qui sont enregistrées sur la blockchain.

#### 1.4.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons pu nous familiariser avec l'univers des systèmes d'information et les différentes technologies telles que l'internet des objets et la blockchain qui ouvrent de nouvelles perspectives passionnantes pour les SI et les entreprises de manière générale. Approfondir chacune de ces technologies, nous a permis d'avoir une idée plus limpide de leur rôle et implication dans de différents domaines, notamment le domaine de l'industrie et la logistique.

En parlant du domaine de l'industrie, nous allons établir dans le chapitre suivant l'état de l'art des différents travaux réalisés dans ce secteur.

## Chapitre 2

# Revue de la littérature

### 2.1 Introduction

L'intégration de l'IoT et de la Blockchain a ouvert de nouvelles perspectives passionnantes dans le domaine de l'industrie et de la logistique. Ces deux technologies révolutionnaires offrent des avantages considérables en termes de connectivité, de transparence, de sécurité et d'automatisation des processus industriels.

Dans ce deuxième chapitre, nous allons présenter un état de l'art des travaux réalisés dans ce domaine en examinant comment l'IoT et la Blockchain sont utilisés conjointement pour résoudre les défis complexes auxquels l'industrie est confrontée.

### 2.2 Littérature des travaux existants

Etant donné qu'on s'est intéressé dans notre recherche à la logistique, nous allons découvrir amplement dans cette section les travaux réalisés dans les différents niveaux de la logistique en utilisant la technologie de l'IoT et/ou la Blockchain. Ci-dessous un schéma illustratif qui résume les travaux que nous avons traités :

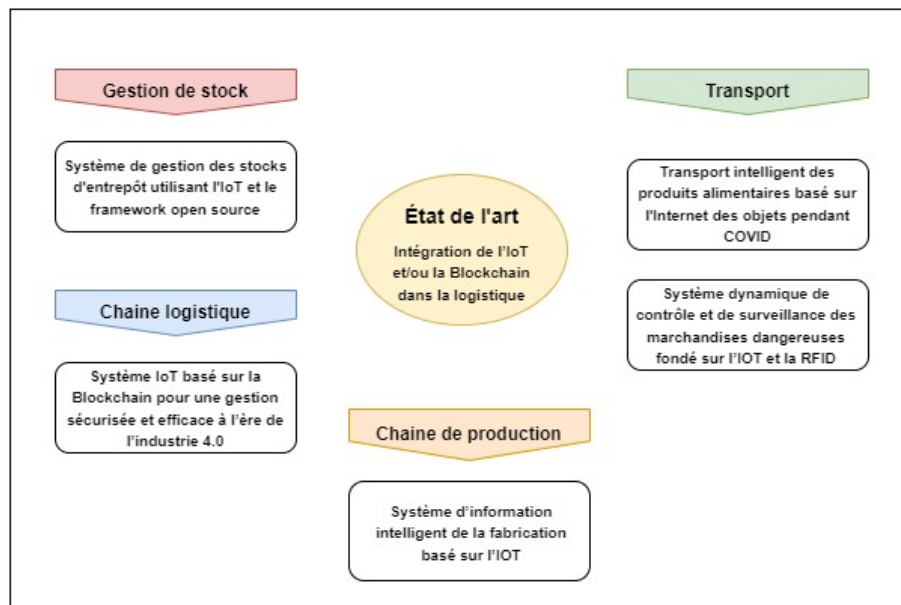


FIGURE 2.1 – Littérature des travaux existants

### 2.2.1 Transport

Lors de la pandémie du Covid-19, plusieurs secteurs ont été affectés notamment le secteur de l'industrie. Alors que les mesures de distanciation sociale et les restrictions de déplacement étaient mises en place, il était essentiel de garantir un approvisionnement continu en produits alimentaires pour les populations du monde entier. Les technologies de transport intelligent ont permis d'optimiser la chaîne d'approvisionnement et de répondre aux besoins croissants. Parmi les nombreux travaux réalisés pour régler ce problème, nous allons nous intéresser à ce travail réalisé par **Marwan Saleh Alluhaidan et al** [18]. Ce système est une solution de surveillance de véhicule transportant des produits alimentaire basée l'internet des objets. La collecte des données est réalisée grâce aux différents capteurs connectés à l'aide d'une passerelle IoT (Gateway). Ces données sont ensuite stockées dans le Cloud sous forme d'historiques, analysées puis finalement affichées en générant des rapports de prédiction sur la base des historiques précédents avant le transport. Les capteurs mis en place dans ce modèle sont le capteur de porte qui est utilisé pour vérifier l'état de la porte du véhicule si elle est ouverte, le capteur de prévention de collisions pour protéger le véhicule transportant des marchandises contre les collisions avec les obstacles présent sur le chemin, le capteur de carburant qui permet de surveiller le niveau de carburant présent dans le véhicule en mouvement pendant la transmission des produits alimentaires et le capteur de détection d'angle mort pour protéger le véhicule des personnes non autorisées qui le suivent à des intervalles réguliers. Ces capteurs et le module de

suivi GPS/GPRS qui est mis en place pour suivre l'emplacement du véhicule sont intégrés en utilisant le Raspberry Pi3. Ce modèle a montré son efficacité en l'utilisant dans plusieurs types d'expériences, s'il y a une condition anormale pendant le déplacement, le conducteur est alerté par une alarme ce qui permet de livrer les produits alimentaires d'une manière sûre et sécurisé pendant la pandémie.

Nous avons aussi une étude réalisée par **Liu Weimin et al** [19] qui proposent un système dynamique de surveillance de transport routier des marchandises dangereuses basé sur l'internet des objets et la technologie d'identification par radiofréquence (RFID). Ce système permet la récupération des informations sur les marchandises et leurs conteneurs, les conducteurs et les véhicules de transport. Grâce à ce système c'est possible aussi, de prévenir et traiter les accidents en récupérant en temps réel l'état de la route et les lieux des accidents. Les informations collectées en temps réel sur le conducteur sont sa température corporelle, son temps de conduite et son état de sommeil. Pour ce qui est de la marchandise dangereuse et du conteneur, les données en temps réel sont la température, la pression, l'humidité et le niveau du liquide. Quant au véhicule de transport nous avons le régime moteur, pression/température d'huile moteur, quantité de carburant, tension de la batterie, etc. Enfin pour l'état des routes, les informations en temps réel incluent la densité du véhicule, la présence ou non d'embouteillages, la vitesse du vent, la neige, la pluie et le brouillard, etc. Ce système est composé de 4 couches qui se présentent comme suit : la première couche chargée de **la collecte de l'information** de base sur l'état du conducteur et le véhicule grâce aux capteurs installés sur les terminaux des moniteurs des véhicules de transports et la station météorologique routière qui indique l'état de la route. La deuxième couche, qui est **la couche de transmission des données** collectées grâce à GPRS, GPS, Wi-Fi, réseau de capteurs, Internet, intranet et ad hoc. Quant à la troisième couche, elle est chargée du **stockage** dans de différentes BDD, et du traitement des données collectées. Et enfin, **la couche application** qui permet l'analyse et la prévision des accidents grâce au terminal du véhicule muni de capteurs et d'un LCD Display. Les données statiques et dynamiques collectées grâce aux capteurs rendent ce système flexible et pratique ce qui permet un bon suivi du transport des marchandises dangereuses.

### 2.2.2 Gestion de stock

**B. Sai Subrahmanya Tejesh et S. Neeraja** [20] ont proposé un système de gestion de stocks basé sur l'IoT en utilisant la technologie RFID (Radio Frequency

Identification). Cette technologie repose sur des étiquettes RFID (Tags) et d'une antenne pour transmettre les données à un lecteur RFID. Le lecteur RFID émet une radio signal qui est captée par une étiquette RFID collée à un produit ou une marchandise stockée dans l'entrepôt pour les identifier de manière unique. Les données collectées par le lecteur RFID sont envoyées à la plateforme NodeMcu à l'aide d'un module wifi Esp8266, qui sont ensuite envoyées au Raspberry Pi 3 qui agit comme un serveur central via une liaison sans fil à l'aide d'ESP8266-01. Ce dernier conserve tous les détails des produits ou des marchandises tels que le numéro d'étiquette, la description du produit, le numéro de stock, l'emplacement et les détails de l'heure dans une base de données puis les affiche aux utilisateurs à l'aide de pages web conviviales sous forme de tableaux.

### 2.2.3 Chaîne logistique

La combinaison de la technologie Blockchain et de l'IoT a rendu le secteur de la logistique plus intelligent, simple et transparent. Parmi les travaux réalisés dans ce domaine, **Nwosu Anthony Ugochukwu et al** [21], proposent un système IoT basé sur la Blockchain pour une gestion logistique efficace et sécurisée, tout en assurant la confidentialité et la sécurité des informations des clients et des produits. Les systèmes de gestion logistique actuels sont confrontés à de nombreux défis, notamment le manque de confiance, de transparence et de respect de la vie privée entre les différents acteurs de la chaîne logistique. Pour pallier à ces problèmes, le système proposé intègre la notion de contrat intelligent de la Blockchain avec l'internet des objets. Il comprend cinq (05) couches qui se présentent comme suit : **la couche utilisateur**, composée des acteurs légitimes de la chaîne logistique (fabriquant, fournisseur, transporteur et client) qui signent, créent des contrats et soumettent leur demandes logistiques via des terminaux (téléphones ou ordinateurs). **La couche application** qui fournit les différentes applications telles que l'envoi des commandes, la gestion de stock et la gestion de transport. **La couche Blockchain** qui propose un réseau distribué pair- à -pair (P2P) pour la communication et la transaction entre les acteurs. **La couche IoT/Blockchain** qui est la couche réseau permettant la communication entre les différents capteurs et la Blockchain et le stockage des données collectées. Enfin, **la couche physique** qui permet la collecte des données grâce aux différents capteurs (RFID, capteurs GPS) installés sur les produits, véhicules de transport et entrepôts de stockage.

Pour mieux comprendre le fonctionnement de ce système, nous allons citer en ce qui suit quelques détails :

- Chacun des acteurs de la CL crée un compte sur la Blockchain avec des contrats intelligents et se connecte grâce à un ID unique.
- Les produits ajoutés par les fabricants sont consultés par tous les acteurs enregistrés dans le contrat intelligent de la Blockchain.
- La commande et la livraison des produits s’effectue avec succès si les conditions du contrat sont rempli et signé par les acteurs concernés.
- Les données sensibles des clients tels que l’adresse et le numéro de la carte crédit sont cryptées par la Blockchain.
- Quand un client passe une commande d’un produit, les détails de ce dernier seront notamment cryptés.
- Pour livrer le produit commandé, la Blockchain décrypte et envoie les données du client au transporteur autorisé.
- Le client demande de décrypter les données qui concernent le produit commandé afin de confirmer la réception.

#### 2.2.4 Chaîne de production

Proposée par **Yan Hong et al** [22], cette étude présente un système d’information intelligent en temps réel pour la fabrication basé sur la technologie de l’Internet des objets (IoT). Les fonctions principales de ce système sont la collecte de données, le contrôle sur le terrain, la transmission de données sans fil et l’analyse de données collectées.

Ce système comprend un **système de surveillance et de contrôle** qui utilise des capteurs pour collecter les données en temps réel, ces données sont ensuite transmises par une passerelle au **système de gestion et d’analyse de données**. Ces informations, sont stockées dans des bases de données, analysées et traitées par des logiciels pour être enfin affichées sur une page Web qui permet une compréhension de la situation et un contrôle à distance du processus de production. En plus de ces deux systèmes, on y trouve aussi le **système de communication WSN** qui utilise le protocole de communication Zigbee et le **système RFID** qui permet d’assurer la qualité des produits et une bonne gestion d’inventaire.

Le système présenté dans cet article apporte plusieurs contributions à la fabrication en numérisant le processus de production en temps réel, ce qui améliore la précision du processus et réduit les coûts de main-d’œuvre.

### 2.3 Etude comparative des travaux existants

En résumé, cette revue à examiner l'état de l'art des travaux et progrès réalisés dans le domaine de l'industrie en utilisant les nouvelles technologies notamment l'internet des objets et la blockchain. Chacune de ces technologies offre de nombreux avantages permettant ainsi aux entreprises d'offrir de meilleures prestations à leurs clients et de faire face à la compétitivité qui est de plus en plus féroce. Ces technologies peuvent être utilisées pour améliorer les processus logistique dans les différents niveaux, **Marwan Saleh Alluhaidan et al** [18] et **Liu Weimin et al** [19] ont proposé des systèmes intelligents pour le transport en utilisant l'IoT, **B. Sai Subrahmanya Tejesh** et **S. Neeraja** [20] ont proposé un système de gestion de stock basé sur la RFID, quant à **Nwosu Anthony Ugochukwu et al** [21] ont proposé un système basé sur la blockchain et l'IoT pour toute la chaîne logistique, enfin Yan Hong et al [22] ont proposé un système qui utilise l'IoT pour le suivi et le contrôle du processus de production.

Les deux premières études [18] et [19] partagent les mêmes inconvénients majeurs qui sont la sécurité et la confidentialité des données. L'IoT implique la collecte de grandes quantités de données sensibles liées aux marchandises ce qui rend ces systèmes plus vulnérables aux cyberattaques ou à une mauvaise gestion de ces données. Les dispositifs doivent inclure une authentification rigoureuse et une tolérance aux pannes pour éviter toute attaque malveillante. En plus de ces inconvénients, [22] comprend un problème de scalabilité au niveau des performances grâce au nombre élevé d'appareils connectés, quant au [20], la manipulation fréquente des étiquettes causera leur détérioration ce qui peut entraîner des inexactitudes dans les données de gestion des stocks.

Le tableau ci-dessous fait une synthèse globale de notre état de l'art :



TABLE 2.1: Synthèse des travaux étudiés.

| Travaux   | Technologie |            | Activité<br>logistique                 | Technologies<br>utilisées   | Objectif   |
|---|-------------|------------|--|---|--|
|   | IOT         | Blockchain |  |   |  |
| Marwan Saleh<br>Alluhaidan<br>et al. [18]             | X           | -          | Transport                              | - Raspberry Pi3<br>- Module de suivi<br>- GPS/GPRS                                      | - Surveillance<br>de véhicule<br>transportant<br>des produits<br>alimentaire.  |
| B. Sai<br>Subrahmanya<br>Tejesh<br>et S. Neeraja [20] | X           | -          | Gestion<br>de stock                    | - Technologie<br>RFID<br>- NodeMcu<br>- Wi-Fi Esp 8266<br>- Raspberry Pi3               | - Gestion de<br>stock basé sur<br>l'IoT.   |
| Liu Weimin<br>et al.[19]                              | X           | -          | Transport                              | - Technologie<br>RFID<br>- GPRS, GPS<br>- Réseau de<br>capteurs Ad-hoc<br>- LCD Display | - Surveillance<br>de transport<br>routier des<br>marchandises<br>dangereuses.<br>- Traitement<br>et prévention<br>d'accidents. |
| Nwosu<br>Anthony<br>Ugochukwu<br>et al. [21]          | X           | X          | Toute<br>la chaine<br>logistique       | - Technologie<br>RFID<br>- GPS<br>- Contrats<br>intelligents                            | - Gestion<br>logistique<br>efficace et<br>sécurisée.   |
| Yan Hong<br>et al. [22]                               | X           | -          | Toute la<br>chaine<br>de<br>production | - Technologie<br>RFID<br>- WSN<br>- Zigbee  | - Suivi du<br>processus de<br>la production<br>en temps réel.  |

## 2.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons pu voir et décortiquer cinq travaux qui traitent l'intégration de l'IoT et la Blockchain dans le domaine de l'industrie. Nous avons constaté que ces technologies sont prometteuses et peuvent fournir

des avantages non négligeables. Cependant, il existe des défis à relever dans ce domaine, tels que les coûts élevés liés à l'acquisition et au déploiement des dispositifs IoT et la blockchain et les problèmes d'interopérabilité lors de l'intégration.

## Chapitre 3

# Solution proposée

### 3.1 Introduction

Au sein du chapitre précédent, nous avons vu quelques travaux qui traitent notre domaine d'étude en utilisant les différentes technologies. Après une étude comparative, nous avons pu proposer à notre tour une architecture basée sur l'IoT et la blockchain pour la surveillance de transport logistique. Dans ce chapitre, nous présenterons les principaux éléments de notre système, nous discuterons de son architecture et de ses phases.

Afin de mieux comprendre notre proposition, nous allons présenter un aperçu sur le fonctionnement de la chaîne logistique agroalimentaire au sein du groupe CEVITAL de l'usine au consommateur final.

Créé par l'entrepreneur ISSAD Rebrab en 1998, CEVITAL est un conglomérat algérien de l'industrie agroalimentaire, la grande distribution, l'industrie et les services. Grâce à ses nombreuses filiales, CEVITAL est réputé par une logistique importante, gérée par la direction logistique, qui a pour but de satisfaire le client et de rentabiliser au maximum l'entreprise. Le département distribution de la direction logistique assure la distribution des produits de CEVITAL sur le territoire national suivant un programme déterminé par les planificateurs de la distribution. Les détails de la distribution tels que les quantités à livrer, les délais et les points de chargement et livraison sont stockés et traités manuellement à l'aide des fichiers Excel et des BDD classiques.

## 3.2 Éléments fondamentaux de notre système

Avant d'entamer la présentation de notre proposition, nous allons découvrir les éléments de base qu'implique notre système pour mieux assimiler son fonctionnement :

- **CA (A certification authority)** : chargée de la gestion des identités et des clés publiques. Elle permet d'enregistrer tous les acteurs du système et de les gérer. Avant chaque transaction les autres autorités s'en remettent pour vérifier l'identité de chaque acteur.
- **AMA (Activity management authority)** : les acteurs doivent signaler leurs actions comme l'ajout d'un nouveau produit, proposition d'un service de transport ou une opération d'achat afin que la AMA fournisse un attribut de certification et mette à jour le système.
- **SA (A scoring authority)** : elle permet d'enregistrer dans un tableau l'ID de chaque acteur et son score de satisfaction.

## 3.3 Hypothèses

Pour que notre système soit réalisable, nous supposons la validité des hypothèses suivantes :

- Un utilisateur, qu'il soit fournisseur, fabricant, transporteur ou client doit disposer d'un appareil (ordinateur, smartphone) qui lui permet de se connecter et d'interagir avec le système.
- Il existe au moins une autorité de certification de confiance.

## 3.4 Architecture de la proposition

Après avoir introduit brièvement les éléments fondamentaux nécessaires pour construire notre système, nous allons présenter dans cette section l'architecture détaillée de notre système en s'appuyant sur des organigrammes explicatifs.

Pour mieux comprendre le fonctionnement global de notre système, nous l'avons résumé dans la figure suivante :

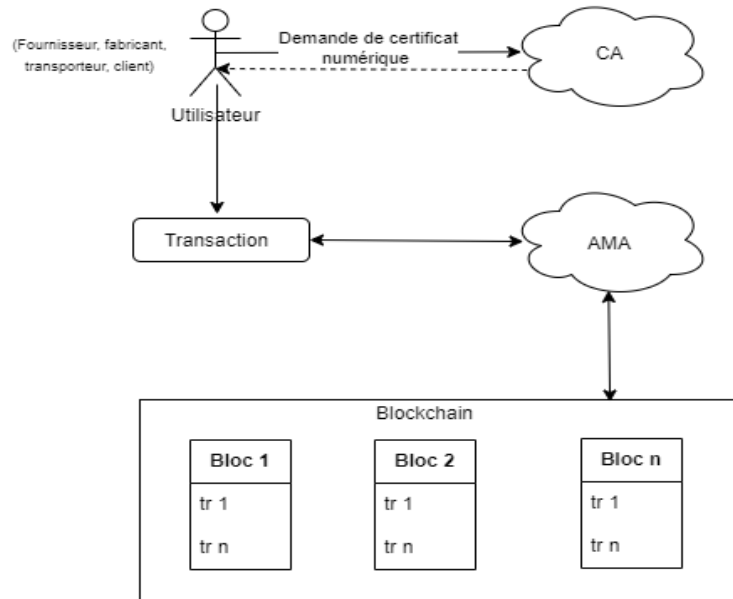


FIGURE 3.1 – Architecture globale du système

### 3.4.1 Composants architecturaux de notre système

**La CA :** c'est un élément fondamental qui permet d'instaurer la confiance dans le réseau, ces principales missions sont les suivantes :

- **Inscription :** lorsqu'un nouvel acteur rejoint le réseau, il doit s'enregistrer auprès de la CA qui collectera les informations nécessaires, validera son identité et sa clé publique puis lui générera un certificat numérique et un ID unique.
- **Vérification :** lorsqu'une transaction est en cours, les acteurs concernés envoient une demande à la CA pour vérifier l'intégrité des certificats numériques.
- **Révocation :** dans le cas où il existe un utilisateur malveillant ou sa clé est divulguée, son certificat numérique devra être révoqué.

**L'AMA :** elle permet de gérer les transactions et opérations entre les différents acteurs, ces missions se résument en :

- **Enregistrement d'un nouveau produit ou service :** lorsqu'un fabricant propose un nouveau produit ou un transporteur propose un service, il doit l'enregistrer au niveau de l'AMA qui lui attribuera un certificat contenant des informations sur le produit/service et sur l'acteur concernée.

- **Enregistrement de la consommation d'un produit/service** : lorsqu'un client achète un produit ou un service, il doit s'enregistrer au niveau de l'AMA qui mettra à jour l'attribut de certification en ajoutant l'ID du client.
- **Suppression d'un produit** : lorsqu'un produit n'est plus mis en vente, l'AMA révoquera son attribut de certification.

**La SA** : elle maintient une table d'identifiant de chaque acteur avec son score de satisfaction qu'il donne après chaque transaction.

### **Justification du choix d'une blockchain :**

Nous avons opté pour le choix de la Blockchain pour le stockage de données dans notre proposition selon nos besoins en s'appuyant sur les points suivant :

- **Nécessité d'une base de données décentralisée et la présence de plusieurs acteurs** : Afin de garantir un haut niveau de transparence et de permettre à tous les acteurs de consulter les données sur les produits et différentes transactions et opérations logistiques, nous avons opté pour une base de données distribuée de manière à ce que tous les acteurs puissent avoir une copie de cette BDD.
- **Exposition à des parties prenantes non fiables et malveillantes** : les données logistiques sont des données sensibles, grâce aux mécanismes de contrôle et de confidentialité que la blockchain propose les utilisateurs peuvent partager sélectivement des informations tout en maintenant la confidentialité des données commerciales et des renseignements personnels.
- **Manque d'automatisation des processus et augmentation des frais logistique** : quand on dit logistique, on dit un nombre élevé d'intermédiaires (fournisseurs, prestataires logistiques, transitaires, ..). La blockchain peut palier à ce problème en créant un réseau de confiance entre les acteurs de la logistique, éliminant ainsi le besoin d'intermédiaires coûteux. Aussi grâce aux contrats intelligents, l'exécution des accords entre les parties prenantes est automatisée.
- **Immuabilité** : parmi les caractéristiques essentielles de la blockchain, nous avons l'immuabilité qui signifie que les données enregistrées sur la blockchain ne peuvent pas être modifiées, altérées ou supprimées une fois qu'elles ont

été validées et ajoutées à la chaîne de blocs ce qui permet aux utilisateurs d'avoir confiance dans l'intégrité et l'exactitude des informations enregistrées.

L'organigramme ci-dessous schématise les différents contrôles et reponses correspondantes qui nous ont conduits à cette décision, ce diagramme est établi à l'aide du logiciel **draw.io** qui est un logiciel de dessin graphique :

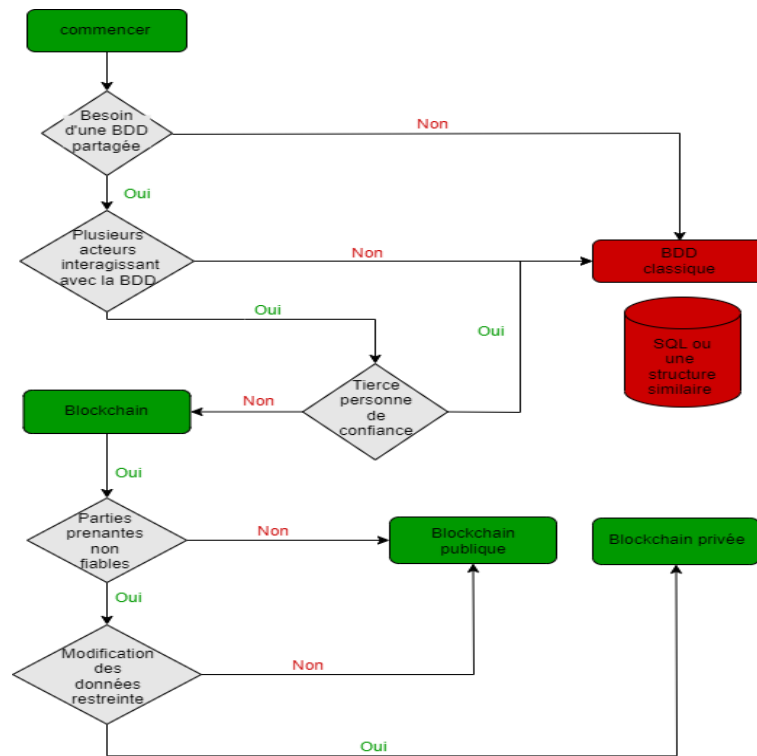


FIGURE 3.2 – Organigramme de validation de blockchain

### 3.5 Phases de la proposition

Après avoir défini les hypothèses et l'architecture globale de notre proposition, nous allons maintenant expliquer les différentes phases de son fonctionnement :

#### 3.5.1 Enregistrement

La première étape est l'inscription où chaque nouvel acteur (fabricant, fournisseur, transporteur ou client) doit s'inscrire en commençant par remplir un formulaire avec ces informations générales et personnelles, en lui attribuant un ID unique et un certificat numérique. Cette étape peut être interprétée comme suit :

- Comme nous avons mentionné dans la partie hypothèses, l'utilisateur est nouveau et possède au moins un dispositif physique. Pour l'activer il envoie une demande à notre système.
- La demande est acheminée vers la CA qui répond par l'attribution d'un ID et une clé publique, et aussi le formulaire à remplir.
- À la réception de cette réponse, l'utilisateur remplit le formulaire et génère une clé asymétrique et renvoie un message de réponse chiffré.
- Les données d'enregistrement sont transmises à la CA.
- La CA vérifie la validité des informations. Dans le cas où c'est valide elle émet un certificat numérique et le publie dans la blockchain.
- Un message d'enregistrement réussi avec le certificat numérique est rendu à l'utilisateur.

Le schéma suivant résume les étapes de la phase d'enregistrement :

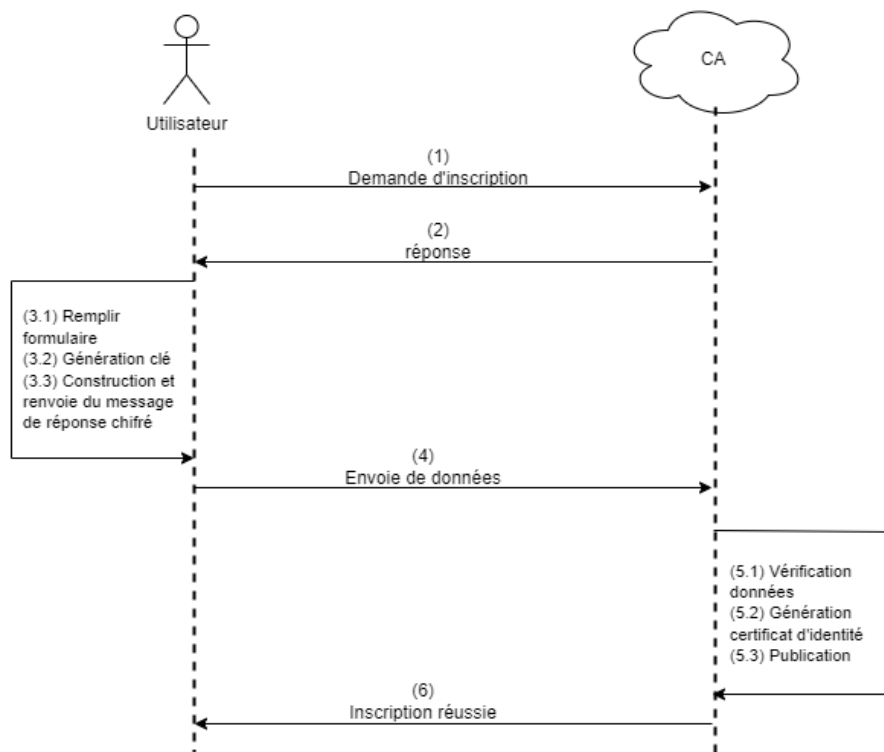


FIGURE 3.3 – Phases d'enregistrement

### 3.5.2 Rapport des activités à l'AMA

Une fois inscrit et possédant au moins un appareil actif, chaque utilisateur qu'il soit fabricant, fournisseur, transporteur ou client pourra proposer un



produit, service ou l'acheter en suivant les étapes ci-dessous :

- Pour publier un produit/service, il faut l'enregistrer à l'AMA :
  - L'utilisateur envoie une demande de déclaration de produit/service.
  - L'AMA reçoit la demande et vérifie la validité de son identité numérique.
  - Si c'est valide, l'AMA lui génère un certificat d'attribut qui contient l'ID du produit/service, l'ID de l'utilisateur et d'autres informations et la lui transmet.
- Le produit/service est publié.
- Le client peut acheter le produit/service.
- Avant chaque transaction d'achat, le client doit l'activer en signalant l'opération à l'AMA qui :
  - Le client envoie une demande d'activation à l'AMA.
  - Contacte la CA afin de vérifier la validité des certificats numériques des utilisateurs.
  - Met à jour le certificat d'attribut en ajoutant l'ID du client.

Le schéma suivant résume les étapes du rapport des activités par l'AMA :

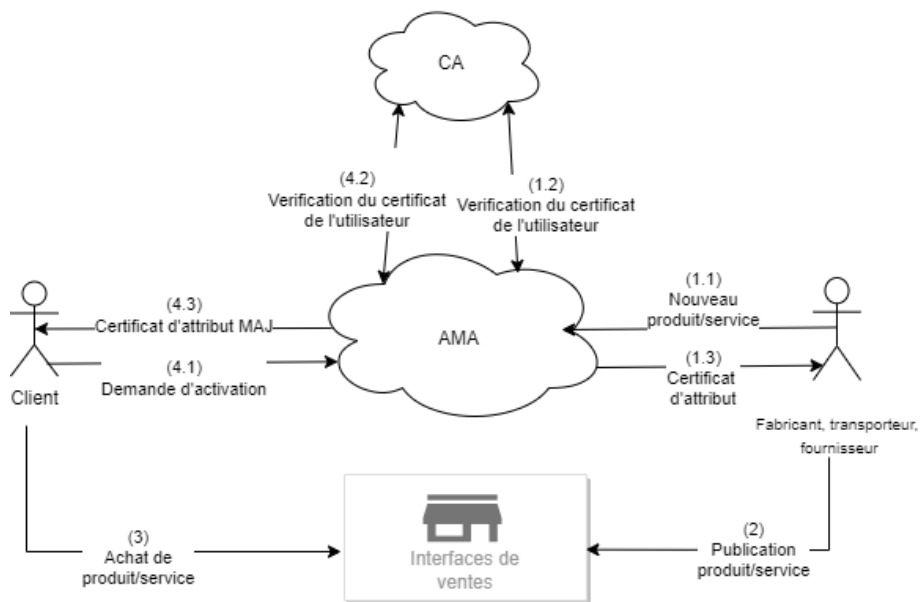


FIGURE 3.4 – Rapports des activités par l'AMA

### 3.5.3 Evaluation

Une fois qu'une transaction est enregistrée à l'AMA, cette dernière envoie le certificat d'attribut qui contient les informations du produit/service à la SA qui va le mettre à jour en ajoutant le score de satisfaction de chaque utilisateur.

La figure suivante résume ces étapes comme suit :

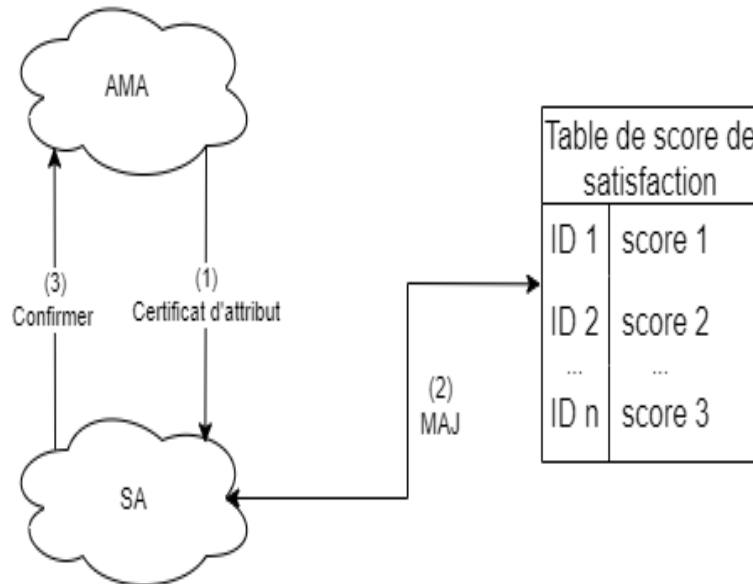


FIGURE 3.5 – Phases d'évaluation

Après avoir expliqué le fonctionnement de la blockchain, nous passons maintenant à la deuxième partie de notre solution qu'on va expliquer dans la section ci-dessous.

### Systeme RFID :

Le transport est l'un des domaines d'application privilégiés de la technologie RFID grâce à ces nombreux avantages et capacités à résoudre les défis logistiques. Pour notre solution, nous proposons un système RFID car c'est une technologie d'identification et de collecte de données à distance peu coûteuse, robuste et peut être facilement intégrée dans n'importe quel domaine d'application. Les données récupérées grâce à cette technologie seront enregistrées dans la blockchain de manière sécurisée et immuable.

### RFID, c'est quoi et comment ça fonctionne ?

RFID (Radio Frequency Identification), est une technologie de collecte

automatique de données qui permet d'identifier et suivre des objets à distance [23].

La RFID fonctionne sur la révélation des signaux radio, ces composants essentiels sont les étiquettes RFID et les lecteurs. Nous expliquons dans ce qui suit le fonctionnement de ce système :

- **Étiquettes RFID** : Les étiquettes RFID sont des dispositifs électroniques qui contiennent une puce RFID et une antenne. La puce RFID contient un circuit intégré qui stocke l'identifiant unique de l'étiquette et, dans certains cas, des données supplémentaires, quant à l'antenne, elle permet la communication sans fil entre l'étiquette RFID et le lecteur RFID.
- **Lecteurs RFID** : Les lecteurs RFID sont des dispositifs qui émettent des signaux radiofréquence (RF) pour interroger et lire les étiquettes RFID à proximité (1). Ces signaux activent les étiquettes RFID (2), qui répondent en transmettant leurs informations à l'aide de signaux RF modulés (3). Les lecteurs captent ensuite ces réponses et les décodent pour extraire les données stockées dans les étiquettes puis les transmettent à un système informatique pour une gestion ultérieure.

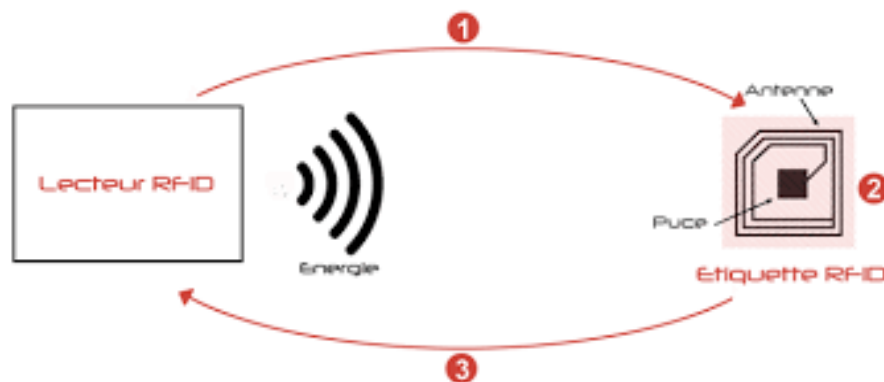


FIGURE 3.6 – Fonctionnement système RFID

Pour notre proposition, les étiquettes seront intégrées aux camions de transport qui vont contenir des informations pertinentes tels que l'ID du camion, les détails concernant le départ et la destination et les horaires d'entrée et de sortie. Quant aux lecteurs RFID, ils seront intégrés aux portes des quais de chargement et aux entrées et sorties d'usines et d'entrepôts de stockage.

Ce système nous permettra d'identifier automatiquement les marchandises lorsqu'elles entrent ou sortent, éliminant ainsi le besoin de saisie manuelle des don-

nées et permettant une accélération des processus, réduction des temps d'attente et une amélioration de la productivité.

### **3.6 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons proposé une architecture pour la surveillance de transport logistique en intégrant la blockchain et l'internet des objets. Cette combinaison offre un potentiel significatif pour la transformation des systèmes d'informations industriels et ouvre la voie à de nouvelles opportunités dans le domaine de l'industrie. Nous avons pu voir dans cette partie les éléments de base de notre système et ses phases.

Dans le chapitre suivant, nous allons voir l'implémentation de notre architecture, ensuite nous allons présenter et discuter les différents résultats de notre proposition.

## Chapitre 4

# Résultats expérimentaux et discussion

### 4.1 Introduction

Nous allons dans ce chapitre voir l'implémentation de notre architecture et présenter l'essentiel des résultats que nous avons obtenus en simulation. Nous avons modéliser en réseaux de files d'attente les deux approches que nous avons présenté précédemment, l'une qui est classique et qui correspond aux pratiques actuelles au niveau des entreprises, l'autre que nous avons proposé en nous appuyant sur les technologies sous-jacentes à l'internet des objets.

### 4.2 Implémentation

Afin de concrétiser la conception de notre système, nous avons eu recours à outils et technologies logicielles formant ainsi un environnement de développement que nous allons découvrir dans la section ci-dessous :

#### 4.2.1 Matériel utilisé

Pour l'implémentation de notre solution nous avons utilisé la machine que nous décrirons dans ce qui suit :

TABLE 4.1 – Caractéristiques du matériel

| Matériel | Caractéristiques   |
|----------|--|
| PC       | Processeur : Intel(R) Core (TM) i5-8250U CPU @ 1.60GHz 1.80 GHz.<br>Mémoire (RAM) : 8,00 Go.<br>Disque Dur : 256 Go SSD..<br>Système d'exploitation : Windows 10 Professionnel |

### 4.2.2 Langage de programmation et bibliothèques

Afin de mettre en œuvre notre solution nous avons utilisé le langage R dans l'IDE (environnement de développement intégré) RStudio et des bibliothèques que nous allons définir dans ce qui suit :

- **Langage R** : Le R est un langage de programmation statistique et analytique largement utilisé dans le domaine de la science des données, de la statistique et de l'analyse de données. Il a été développé principalement par Ross Ihaka et Robert Gentleman à partir des années 1990.
- **RStudio** : RStudio est un IDE spécialement conçu pour le langage de programmation R. C'est un outil puissant et convivial qui offre un ensemble complet d'outils et de fonctionnalités pour faciliter le développement, la visualisation et la gestion de projets R.

En ce qui concerne les bibliothèques nous avons utilisé les bibliothèques suivantes :

- **Simmer** : C'est une bibliothèque R spécialement conçue pour la modélisation et la simulation de processus basés sur des files d'attente. Elle fournit des fonctionnalités permettant de créer, exécuter et analyser des simulations de files d'attente de manière efficace. Elle permet de définir des trajectoires ou des séquences d'événements qui représentent le flux des clients à travers un système de file d'attente tout en spécifiant des délais et ressources entre le client et le système.
- **Simmer.plot** : La bibliothèque "simmer.plot" est une extension de la bibliothèque "simmer" en R qui fournit des fonctionnalités de visualisation pour les résultats de simulation créés avec "simmer". Elle permet de générer des graphiques et des visualisations pour analyser les données de simulation et comprendre le comportement des files d'attente modélisées.

### 4.2.3 Données utilisées pour la simulation

Avant de présenter les données que nous avons utilisées, nous commençons par une définition de la simulation.

#### Qu'est-ce qu'une simulation ?

Une simulation est une technique qui consiste à reproduire artificiellement le comportement d'un système réel. Son objectif principal est de comprendre le

comportement d'un système dans différentes conditions, d'évaluer l'impact de différentes variables et de prendre des décisions éclairées en se basant sur les résultats de la simulation. Elle permet de prédire les performances, les résultats ou les effets d'un système ou d'une situation sans avoir à effectuer d'expériences réelles coûteuses ou risquées.

Dans notre cas, le but de la simulation est de voir le comportement d'un système réel de transport logistique en intégrant les capteurs RFID qui ont pour but d'automatiser et d'optimiser les processus.

En ce qui concerne les données, nous avons utilisé des données réelles de l'entreprise CEVITAL. Voici un échantillon de données contenant les détails relatifs au chargement de marchandises au niveau de l'usine :

| 2  |                |            |        |                             |                 |                  |                   |                     |                     |                        |                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----|----------------|------------|--------|-----------------------------|-----------------|------------------|-------------------|---------------------|---------------------|------------------------|------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 3  | N° OT          | Transporté | Départ | Départ 1                    | Date Chargement | Planifié         | 01/Arrivée Camion | 02/Entrée site (Ch) | 03/Entrée quai (Cl) | 04/Sortie Quai (CHARG) | 05/Sortie site (CHARG) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4  | CC BEI22142427 | CLIENT     | HCP01  | Unité conditionnement huile | 12/1/2022 0:00  | 01/12/2022 02:00 | 30/11/2022 23:47  | 01/12/2022 07:12    | 01/12/2022 07:50    | 01/12/2022 08:31       | 01/12/2022 09:17       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5  | CC BEI22142444 | CLIENT     | HCP01  | Unité conditionnement huile | 12/1/2022 0:00  | 01/12/2022 04:00 | 30/11/2022 22:35  | 01/12/2022 08:44    | 01/12/2022 09:27    | 01/12/2022 10:22       | 01/12/2022 10:57       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 6  | CC BEI22142448 | CLIENT     | HCP01  | Unité conditionnement huile | 12/1/2022 0:00  | 01/12/2022 06:00 | 30/11/2022 23:20  | 01/12/2022 07:13    | 01/12/2022 08:23    | 01/12/2022 09:21       | 01/12/2022 09:59       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 7  | CC BEI22142449 | CLIENT     | HCP01  | Unité conditionnement huile | 12/1/2022 0:00  | 01/12/2022 01:00 | 30/11/2022 22:06  | 01/12/2022 06:19    | 01/12/2022 07:02    | 01/12/2022 07:55       | 01/12/2022 08:34       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 8  | CC BEI22142457 | CLIENT     | DPP02  | Plateforme PF BOUIRA        | 12/1/2022 0:00  | 01/12/2022 00:00 | 30/11/2022 18:32  | 01/12/2022 00:40    | 01/12/2022 01:50    | 01/12/2022 02:17       | 01/12/2022 02:30       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 9  | CC BEI22142458 | CLIENT     | DPP02  | Plateforme PF BOUIRA        | 12/1/2022 0:00  | 01/12/2022 00:00 | 30/11/2022 23:00  | 01/12/2022 01:40    | 01/12/2022 02:40    | 01/12/2022 03:22       | 01/12/2022 03:40       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 10 | CC BEI22142460 | CLIENT     | DPP02  | Plateforme PF BOUIRA        | 12/1/2022 0:00  | 01/12/2022 02:00 | 01/12/2022 00:00  | 01/12/2022 01:17    | 01/12/2022 02:50    | 01/12/2022 02:35       | 01/12/2022 02:55       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 11 | CC BEI22142462 | CLIENT     | HCP01  | Unité conditionnement huile | 12/1/2022 0:00  | 01/12/2022 00:00 | 30/11/2022 22:08  | 01/12/2022 02:05    | 01/12/2022 05:00    | 01/12/2022 06:22       | 01/12/2022 06:57       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 12 | CC BEI22142465 | CLIENT     | DPP02  | Plateforme PF BOUIRA        | 12/1/2022 0:00  | 01/12/2022 01:00 | 01/12/2022 08:55  | 01/12/2022 09:15    | 01/12/2022 10:56    | 01/12/2022 11:21       | 01/12/2022 12:05       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 13 | CC BEI22142468 | CLIENT     | HCP01  | Unité conditionnement huile | 12/1/2022 0:00  | 01/12/2022 01:00 | 01/12/2022 01:54  | 01/12/2022 06:48    | 01/12/2022 07:28    | 01/12/2022 08:13       | 01/12/2022 08:48       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 14 | CC BEI22142468 | CLIENT     | HCP01  | Unité conditionnement huile | 12/1/2022 0:00  | 01/12/2022 05:00 | 30/11/2022 22:22  | 01/12/2022 10:07    | 01/12/2022 11:00    | 01/12/2022 11:28       | 01/12/2022 11:58       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 15 | CC BEI22142471 | CLIENT     | HCP01  | Unité conditionnement huile | 12/1/2022 0:00  | 01/12/2022 12:00 | 30/11/2022 22:09  | 01/12/2022 12:30    | 01/12/2022 13:00    | 01/12/2022 13:51       | 01/12/2022 13:59       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 16 | CC BEI22142473 | CLIENT     | DPP02  | Plateforme PF BOUIRA        | 12/1/2022 0:00  | 01/12/2022 08:00 | 01/12/2022 10:10  | 01/12/2022 10:45    | 01/12/2022 12:25    | 01/12/2022 12:39       | 01/12/2022 13:25       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 17 | CC BEI22142473 | CLIENT     | HCP01  | Unité conditionnement huile | 12/1/2022 0:00  | 01/12/2022 13:00 | 01/12/2022 10:06  | 01/12/2022 14:34    | 01/12/2022 15:44    | 01/12/2022 16:40       | 01/12/2022 16:46       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 18 | CC BEI22142480 | CLIENT     | HCP01  | Unité conditionnement huile | 12/1/2022 0:00  | 01/12/2022 20:00 | 01/12/2022 19:19  | 01/12/2022 19:20    | 01/12/2022 21:00    | 01/12/2022 21:31       | 01/12/2022 22:06       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 19 | CC BEI22142481 | CLIENT     | HCP01  | Unité conditionnement huile | 12/1/2022 0:00  | 01/12/2022 09:00 | 01/12/2022 07:53  | 01/12/2022 10:39    | 01/12/2022 11:28    | 01/12/2022 11:58       | 01/12/2022 12:27       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 20 | CC BEI22142483 | CLIENT     | HCP01  | Unité conditionnement huile | 12/1/2022 0:00  | 01/12/2022 14:00 | 01/12/2022 13:11  | 01/12/2022 23:22    | 01/12/2022 23:44    | 02/12/2022 00:40       | 02/12/2022 00:57       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 21 | CC BEI22142484 | CLIENT     | HCP01  | Unité conditionnement huile | 12/1/2022 0:00  | 01/12/2022 14:00 | 01/12/2022 19:54  | 01/12/2022 19:55    | 01/12/2022 21:00    | 01/12/2022 21:35       | 01/12/2022 22:12       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 22 | CC BEI22142485 | CLIENT     | HCP01  | Unité conditionnement huile | 12/1/2022 0:00  | 01/12/2022 13:00 | 30/11/2022 22:08  | 01/12/2022 13:42    | 01/12/2022 14:44    | 01/12/2022 15:32       | 01/12/2022 15:51       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

FIGURE 4.1 – Echantillon des données de chargement de marchandises de CEVITAL.

### 4.3 Résultats et discussion

Les résultats de la simulation sont présentés dans les figures 4.2 à 4.7, les graphiques à gauche représentent les performances du modèle classique et actuellement exploité par les entreprises tandis que les graphiques à droite représentent les performances obtenus par notre modèle.

La figure 4.2 permet d'observer les taux d'occupations des différents services impliqués dans les opérations d'expéditions, et comme nous pouvons le constater, notre système propose un meilleur équilibre avec un taux d'enregistrement réduit et un taux de chargement plus élevé ce qui veut dire plus d'expéditions. Le taux

d'enregistrement réduit revient à l'automatisation de ce processus en intégrant les étiquettes RFID permettant ainsi l'enregistrement de plus de camions, ce qui explique le taux d'occupation plus élevé dans la phase chargement par rapport aux systèmes actuels.

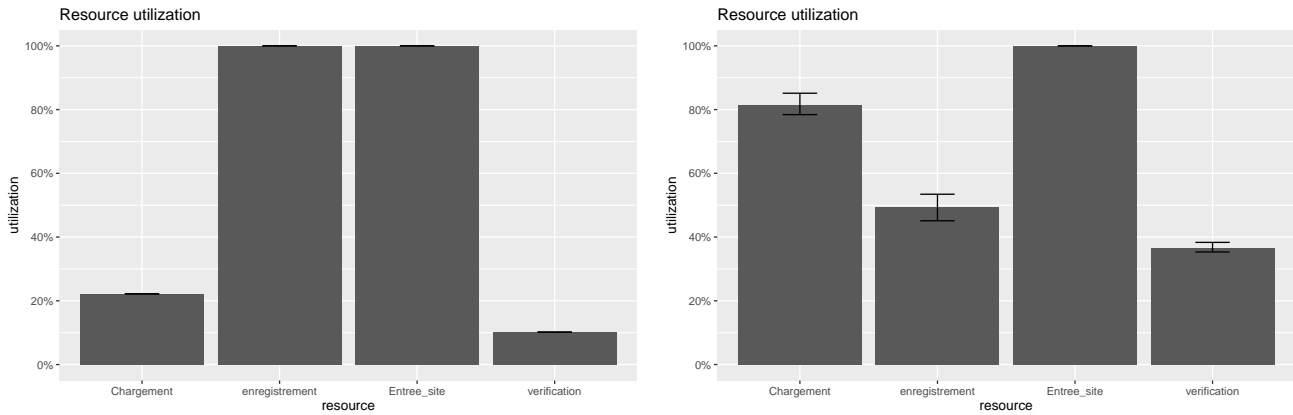


FIGURE 4.2 – Taux d'occupation des services

Les taux de services expriment l'évolution du nombre d'expéditions traitées sur les durées, ces taux sont représentés dans la figure 4.3 qui confirme l'efficacité de notre système. En effet notre système a permis d'augmenter le nombre d'expéditions réalisés dans la phase chargement et cela revient à la réduction des temps d'attentes dans la phase enregistrement et à la rapidité des opérations qu'offre notre système comparé aux systèmes classiques.

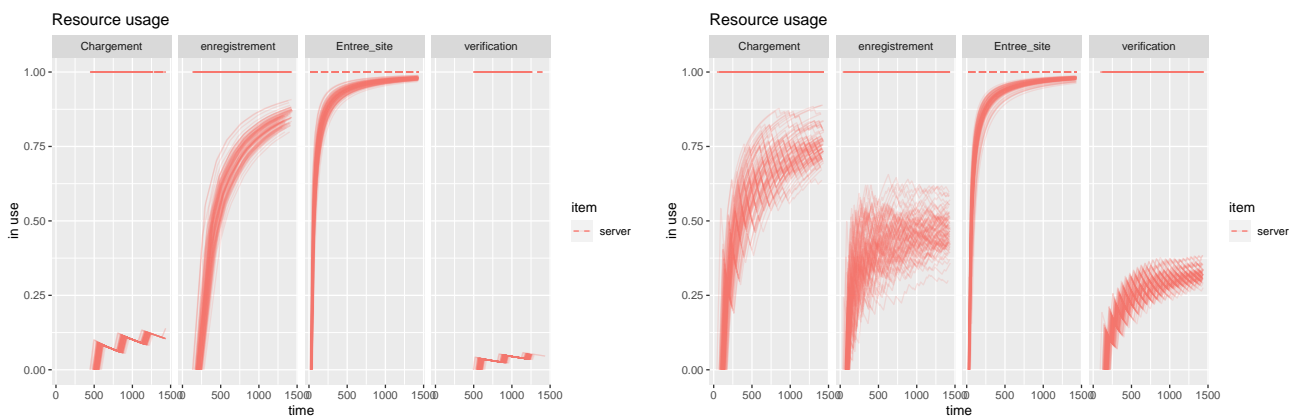


FIGURE 4.3 – Taux de services

L'un des paramètres cruciaux permettant de vérifier la stabilité des réseaux de files d'attente est l'évolution des longueurs des files avec le temps et peut être observé dans la figure 4.4. Notre système a pour but d'automatiser les processus logistiques en évitant toute vérification manuelle et d'augmenter l'efficacité



globale de la gestion des expéditions, en comparant les deux graphiques nous remarquons que notre système propose de meilleurs résultats dans la phase enregistrement, chargement et vérification avec une longueur à 0 et qui est constante pendant toute la durée de la simulation.



FIGURE 4.4 – Evolution des longueurs de files d’attentes

Les durées cumulées des attentes peuvent être exploités pour représenter les performances d’un modèle RFA, la figure 4.5 permet de comparer ces durées suivant les approches. En comparant les deux graphiques nous remarquons que dans le deuxième graphique qui représente notre système nous avons une plus grande variance autour de la moyenne comparée au premier qui est stable.

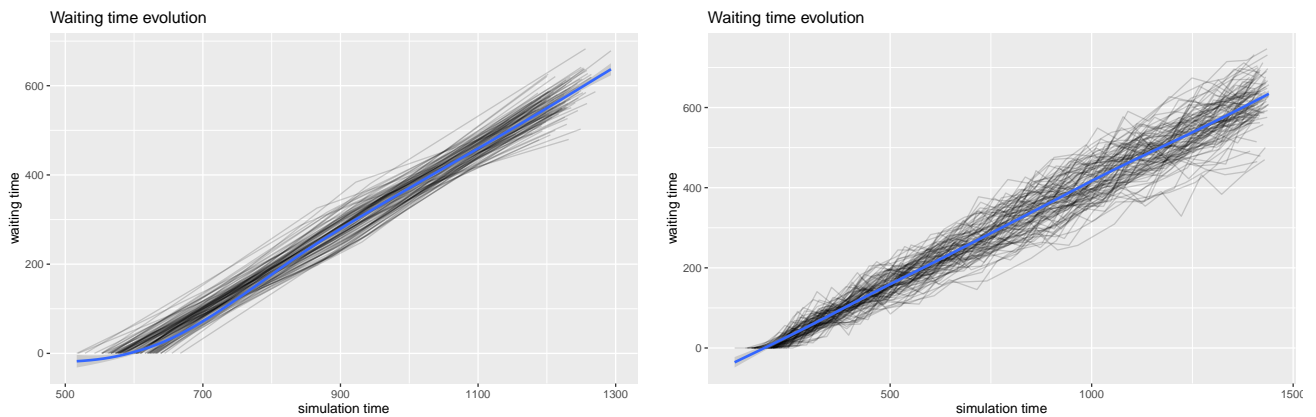


FIGURE 4.5 – Evolution des temps d’attentes

Les temps d’activités que nous présentons dans la figure 4.6 correspondent à la somme des durées des traitements d’une expédition dans le système en omettant les durées d’attentes. Comme nous pouvons le voir sur les figures, les durées de traitement sont diminuées en passant d’une courbe qui varie entre 550min et 600min à une courbe stable de 150min.

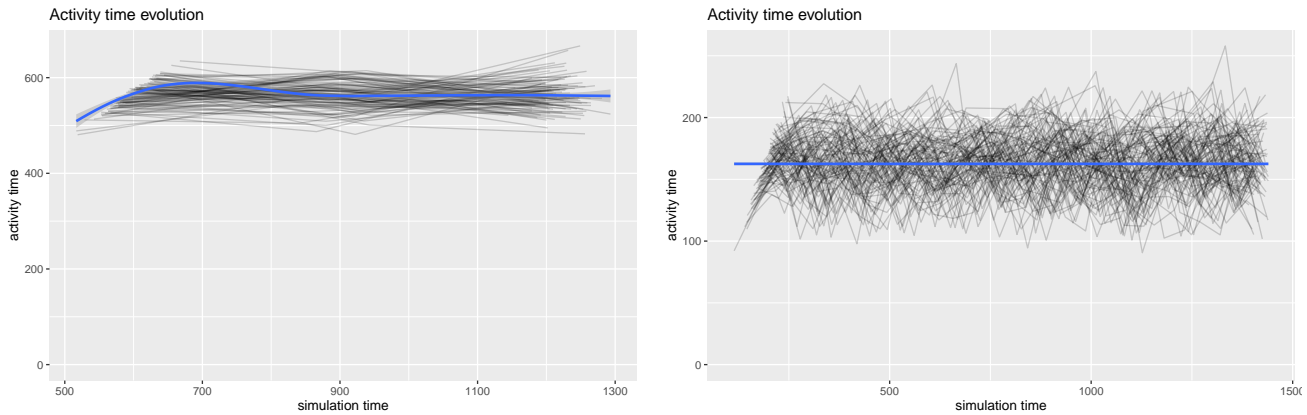


FIGURE 4.6 – Evolution des temps d'activités

La durée de flux quant à elle, elle permet d'évaluer l'évolution des durées globales d'attentes et de traitements des expéditions et sont données par la figure 4.7 qui valide l'efficacité globale de notre système avec un meilleur traitement des expéditions et une minimisation des durées d'attentes.

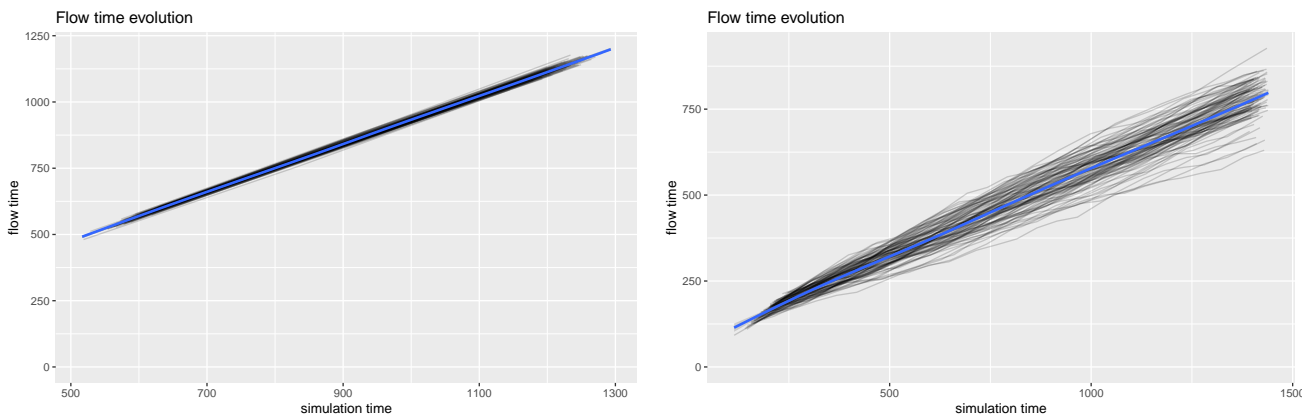


FIGURE 4.7 – Evolution des durées de flux

#### 4.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons pu nous familiariser plus amplement avec le langage, l'environnement et les bibliothèques utilisées pour concrétiser notre proposition. Nous avons pu également découvrir les résultats de notre projet en s'appuyant sur des graphiques qui comparent les systèmes classiques des entreprises actuellement et notre système qui utilise la technologie RFID. Il nous reste donc plus qu'à clôturer ce projet avec une conclusion générale et les perspectives d'avenirs.

# Conclusion générale et perspectives

Les nouvelles technologies telles que l'Internet des objets (IoT) et la blockchain ont un impact révolutionnaire dans différents domaines dont celui de l'industrie et de la logistique où plusieurs avancées sont notables. L'IoT permet la connectivité et la communication entre le monde physique et le monde digital grâce aux différents types de capteurs, ouvrant ainsi la voie à une collecte de données en temps réel et à une automatisation des processus industriels. De plus, l'intégration de la blockchain offre des avantages considérables en termes de sécurité, de transparence et de traçabilité. Les transactions et les échanges de données peuvent être enregistrés de manière immuable et vérifiable, ce qui renforce la confiance entre les partenaires commerciaux et permet une gestion transparente des actifs et des chaînes d'approvisionnement.

Notre objectif principal de recherche était de proposer une solution qui combine l'IoT et la blockchain pour la logistique, grâce à cette combinaison, elle peut bénéficier d'une meilleure prise de décision basée sur des données fiables, d'une réduction des risques liés à la fraude et d'une amélioration globale de l'efficacité opérationnelle.

Le développement de notre projet d'étude a requis de nombreuses aptitudes et savoir-faire dans différents domaines notamment le domaine de l'industrie et la logistique dans lesquels nous étions limités ce qui nous a poussés à approfondir nos connaissances en la matière.

En ce qui concerne les futures perspectives qui peuvent améliorer d'avantage ce travail et le perfectionner, nous souhaitons une collaboration avec les entreprises et tous les acteurs de l'industrie en suivant une approche stratégique pour l'implémentation de la blockchain, et cela pour évaluer les performances de notre architecture dans des contextes industriels réels afin de valider son efficacité et applicabilité.

Nous avons aussi l'aspect sécurité de notre architecture que nous devons approfondir en proposant des mécanismes de sécurité avancés pour protéger les données IoT, les transactions blockchain et les dispositifs connectés.

Enfin, nous souhaitons intégrer l'intelligence artificielle (IA) dans notre architecture pour analyser les données IoT collectées, prédire les pannes et améliorer la prise de décision automatisée.



# Résumé

L'avènement des outils numériques et leur intégration croissante à tous les aspects de notre vie quotidienne ont ouvert de nouvelles perspectives et ont profondément transformé notre société. Plusieurs domaines en tirent profit notamment le secteur industriel et logistique. L'internet des objets (IoT) et la blockchain font partie des nouvelles technologies de cette révolution numérique qui transforment les systèmes d'informations industriels. L'IoT permet la collecte de données en temps réel, tandis que la blockchain garantit la sécurité et la traçabilité des données, transformant ainsi les SI industriels en des systèmes plus intelligents, agiles et performants.

Dans ce mémoire, nous avons proposé une architecture pour la logistique, notre solution combine un système RFID qui permet une collecte de données logistiques en temps réel éliminant ainsi toute saisie manuelle avec une architecture blockchain qui permet la traçabilité des transactions logistiques et la sécurité des données confidentielles grâce à des algorithmes de cryptographie. Enfin, pour évaluer les performances de notre proposition, nous avons procédé à une simulation où nous comparons le comportement des systèmes actuels des entreprises avec notre système proposé.

**Mots clés :** IoT, blockchain, RFID, SI, Logistique.

# Abstract

The advent of digital tools and their increasing integration into all aspects of our daily lives have opened up new perspectives and profoundly transformed our society. A number of fields are benefiting, particularly the industrial and logistics sectors. The Internet of Things (IoT) and blockchain are among the new technologies emerging from this digital revolution that are transforming industrial information systems. IoT enables real-time data collection, while blockchain guarantees data security and traceability, transforming industrial IS into more intelligent, agile and high-performance systems.

In our research, we have proposed an architecture for logistics. Our solution combines an RFID system that enables logistics data to be collected in real time, thus eliminating the need for manual data entry, with a blockchain architecture that enables traceability of logistics transactions and security of confidential data thanks to cryptographic algorithms. Finally, to evaluate the performance of our proposal, we have carried out a simulation in which we compare the behavior of companies current systems with our proposed system.

**Key words :** IoT, blockchain, RFID, IS, Logistics.

# Bibliographie

- [1] MAHARRAR AMINA. « La mise en place d'un système d'information formalisé dans les entreprises algériennes ». Mém. de mast. Université Abou Bekr BELKAID, Faculté des Sciences Économiques, Commerciales et des Sciences de Gestion, 2013.
- [2] HUGUES ANGOT. *Système d'information de l'entreprise : des flux d'information au système d'information de gestion automatisé*. Bruxelles : 5ème édition, De Boeck, 2008.
- [3] Paige BALTZAN. *Business Driven Information Systems*. McGraw-Hill Higher Education, 2023.
- [4] Yasser KHAN et al. « Application of Internet of Things (IoT) in Sustainable Supply Chain Management ». In : *Sustainability* 15.1 (2022), p. 694.
- [5] Mohamed BEN-DAYA, Elkafi HASSINI et Zied BAHROUN. « Internet of things and supply chain management : a literature review ». In : *International Journal of Production Research* 57.15-16 (2019), p. 4719-4742.
- [6] Imad SALEH. « Internet of Things (IoT) : Concepts, Issues, Challenges and Perspectives ». In : (2018).
- [7] Ahmed NAIT-SIDI-MOH, David DURAND, Jérôme FORTIN et al. « Internet des objets et interopérabilité des flux logistiques : état de l'art et perspectives ». In : *Université de Picardie Jule Verne* (2015).
- [8] Imad SGHIAR et Jaber EL BOUHIDI. « Vers une solution e-Logistique optimisée intégrant l'IoT ». In : *Colloque sur les Objets et systèmes Connectés-COC'2021*. 2021.
- [9] Shamim YOUSEFI, Hadis KARIMPOUR et Farnaz DERAKHSHAN. « Data aggregation mechanisms on the internet of things : a systematic literature review ». In : *Internet of Things* 15 (2021), p. 100427.
- [10] Marco LOMBARDI, Francesco PASCALE et Domenico SANTANIELLO. « Internet of things : A general overview between architectures, protocols and applications ». In : *Information* 12.2 (2021), p. 87.
- [11] Sathyan MUNIRATHINAM. « Industry 4.0 : Industrial internet of things (IIOT) ». In : *Advances in computers*. T. 117. 1. Elsevier, 2020, p. 129-164.
- [12] Krzysztof WÓJCICKI et al. « Internet of Things in Industry : Research Profiling, Application, Challenges and Opportunities—A Review ». In : *Energies* 15.5 (2022), p. 1806.
- [13] Mohamed Ahmed MOHAMED, Chantal TACONET et Mohamed Ould Mohamed LEMINE. « La traçabilité dans les chaînes logistiques en utilisant l'IoT et la blockchain ». In : *Evolution des SI : vers des SI Pervasifs ?* T. 2019. 1. 2019, p. 1-10.
- [14] Krystsina SADOUSKAÏA. « Adoption de la technologie Blockchain dans la chaîne d'approvisionnement et la logistique ». Mém. de mast. 2017.
- [15] Mehrdokht POURNADER et al. « Blockchain applications in supply chains, transport and logistics : a systematic review of the literature ». In : *International Journal of Production Research* 58.7 (2020), p. 2063-2081.
- [16] Bela SHRIMALI et Hiren B PATEL. « Blockchain state-of-the-art : architecture, use cases, consensus, challenges and opportunities ». In : *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences* 34.9 (2022), p. 6793-6807.
- [17] Ch VNU Bharathi MURTHY et al. « Blockchain based cloud computing : Architecture and research challenges ». In : *IEEE Access* 8 (2020), p. 205190-205205.
- [18] Ala Saleh ALLUHAIIDAN, Marwan Saleh ALLUHAIIDAN et Shakila BASHEER. « Internet of things based intelligent transportation of food products during COVID ». In : *Wireless personal communications* (2021), p. 1-20.



- 
- [19] Liu WEIMIN et al. « Dangerous goods dynamic monitoring and controlling system based on IOT and RFID ». In : *2012 24th Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*. IEEE. 2012, p. 4171-4175.
- [20] B Sai Subrahmanya TEJESH et SJAEJ NEERAJA. « Warehouse inventory management system using IoT and open source framework ». In : *Alexandria engineering journal* 57.4 (2018), p. 3817-3823.
- [21] Nwosu Anthony UGOCHUKWU, SB GOYAL et Sampathkumar ARUMUGAM. « Blockchain-Based IoT-Enabled System for Secure and Efficient Logistics Management in the Era of IR 4.0 ». In : *Journal of Nanomaterials* 2022 (2022).
- [22] Yan Hong MA, Yao XIE et Lian Gang LIU. « Intelligent and Real-Time Information System of Production Manufacturing Based on Internet of Things Technology ». In : *Applied Mechanics and Materials*. T. 651. Trans Tech Publ. 2014, p. 1594-1598.
- [23] Ron WEINSTEIN. « RFID : a technical overview and its application to the enterprise ». In : *IT professional* 7.3 (2005), p. 27-33.