



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Kasdi Merbah, Ouargla
Faculté des nouvelles technologies de l'information et de la communication
Département d'informatique et de technologie de l'information



En vue de l'obtention du diplôme de MASTER

Option : Administration et sécurité du réseau

**Approche blockchain pour traçabilité des pièces de
rechange dans la chaîne logistique**

Présenté par : Bensid Siham et Boukhechba Amel

La comitée du jury :

Dr. Mahdjoub Med Bachir

Dr. Lannani Sadek

Dr. Gharib Toufik

Université Kasdi Merbah de Ouargla

Université Kasdi Merbah de Ouargla

Université Kasdi Merbah de Ouargla

Président

Encadreur

Examineur

Année académique : 2022 – 2023



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Kasdi Merbah, Ouargla
Faculté des nouvelles technologies de l'information et de la communication
Département d'informatique et de technologie de l'information



En vue de l'obtention du diplôme de MASTER

Option : Administration et sécurité du réseau

**Approche blockchain pour traçabilité des pièces de
rechange dans la chaîne logistique**

Présenté par : Bensid Siham et Boukhechba Amel

La comitée du jury :

Dr. Mahdjoub Med Bachir
Dr. Lannani Sadek
Dr. Gharib Toufik

Université Kasdi Merbah de Ouargla
Université Kasdi Merbah de Ouargla
Université Kasdi Merbah de Ouargla

Président
Encadreur
Examineur

Année académique : 2022 – 2023

Remerciement

Je remercie d'abord ALLAH le tout puissant qui m'a guidé et m'a donné la force et la volonté de réaliser ce mémoire.

Mes pensées vont vers mes parents, qui ont toujours cru en moi. C'est grâce à leur soutien et prières que j'ai accompli ce travail, ils savent déjà combien je leur dois.

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude à mon Encadreur Monsieur Laanani Sadek pour ses précieux conseils.

Je tiens également à remercier les membres du jury pour leurs efforts d'évaluation de ce travail.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont participé de loin ou de près à la réalisation de ce modeste travail."

Résumé

De nos jours, avec le développement technologique, la fraude augmente dans le processus d'achat et de vente de pièces de rechange et le grand chevauchement entre les produits originaux et contrefaits, ce qui a conduit à l'émergence du chaos sur le marché des pièces de rechange ; Les pièces de rechange sont des atouts essentiels pour maintenir la productivité et les opérations, car les pièces de rechange sont utilisées pour réparer ou remplacer les unités endommagées.

Le suivi de la propriété des pièces de rechange permet de garantir des résultats fiables en termes d'opérations de fabrication et de prestation de services. Le suivi de la propriété des pièces de rechange dans la chaîne d'approvisionnement signifie le suivi des pièces d'origine depuis la phase de production jusqu'à ce qu'elles atteignent le consommateur final.

Dans ce travail, nous visons à développer une méthodologie de gestion de la chaîne d'approvisionnement via un contrat intelligent basé sur la blockchain, pour suivre les détails de propriété des pièces de rechange de l'OEM au fournisseur et aux utilisateurs finaux ; Nous exploitons les fonctionnalités de la blockchain pour construire un système d'inventaire de pièces détachées sécurisé et fiable, traçable, accessible et immuable.

Le système proposé intègre le stockage décentralisé des systèmes de fichiers interplanétaires (IPFS) pour le stockage et le partage des données de pièces de rechange. Nous présentons les algorithmes avec leurs détails de mise en œuvre complets et nous sélectionnons et validons également le contrat intelligent.

Mots clés : Chaîne logistique, Pièces de rechange, blockchain, contrat intelligent.

المخلص

في الوقت الحاضر ،مع التطور التكنولوجي ، يتزايد الاحتياال في عملية شراء وبيع قطع الغيار والتداخل الكبير بين السلع الاصلية والمقلدة مما ادى الى ظهور فوضى في سوق قطع الغيار؛ قطع الغيار هي أصول أساسية للحفاظ على الإنتاجية والعمليات حيث يتم استخدام قطع غيار لإصلاح أو استبدال الوحدات التالفة.

يساعد تتبع ملكية قطع الغيار في ضمان نتائج موثوقة فيما يتعلق بعمليات التصنيع وتقديم الخدمات، تتبع ملكية قطع الغيار بسلسلة التوريد يعني تتبع القطع الاصلية منذ مرحلة الانتاج حتى وصولها الى المستهلك النهائي.

في هذا العمل نهدف الى تطوير منهجية لادارة سلسلة التوريد عبر عقد ذكيا قائما على بلوكشين، لتتبع تفاصيل ملكية قطع الغيار من الشركة المصنعة للمعدات الاصلية الى المورد والمستخدمين النهائيين؛ نحن نستغل ميزات بلوكشين لبناء نظام مخزون آمن وموثوق به لقطع الغيار، قابل للتتبع،ويمكن الوصول إليه وغير قابل للتغيير .

يدمج النظام المقترح التخزين اللامركزي لأنظمة الملفات بين الكواكب IPFS لتخزين بيانات قطع الغيار ومشاركتها. نقدم الخوارزمات مع تفاصيل التنفيذ الكاملة الخاصة بهم كما نقوم باختيار العقد الذكي والتحقق منه.

الكلمات المفتاحية : سلسلة التوريد، قطع الغيار، سلسلة الكتل، عقد ذكي.

Introduction générale

La traçabilité des pièces détachées dans la chaîne logistique est un enjeu majeur pour de nombreuses industries, notamment l'automobile, l'aérospatiale et l'industrie manufacturière. La disponibilité des pièces détachées fiables et authentiques est essentielle pour assurer le bon fonctionnement des machines et équipements, ainsi que pour garantir la sécurité des opérations. Cependant, la gestion de la traçabilité des pièces détachées peut être un défi complexe. Les pièces peuvent passer par de nombreux acteurs différents tout au long de la chaîne logistique, ce qui rend difficile la vérification de leur provenance et de leur authenticité. De plus, les contrefaçons et les pièces détachées de qualité inférieure peuvent se glisser dans la chaîne d'approvisionnement, entraînant des risques pour les entreprises et les utilisateurs finaux. C'est là que la technologie blockchain entre en jeu. La blockchain est un registre numérique décentralisé qui permet de stocker et de partager des informations de manière transparente, sécurisée et immuable. Elle offre un moyen efficace de suivre et de vérifier la provenance des pièces détachées tout au long de la chaîne logistique. L'approche blockchain pour la traçabilité des pièces de rechange repose sur l'utilisation de contrats intelligents (smart contracts) et de jetons numériques (tokens). Chaque pièce détachée peut être enregistrée sur la blockchain en tant que jeton unique, associé à des informations telles que son numéro de série, sa date de fabrication, son fournisseur d'origine, etc. Ces informations sont stockées de manière sécurisée et immuable, ce qui permet de vérifier l'authenticité et la provenance des pièces à tout moment. Les contrats intelligents peuvent automatiser certaines actions dans le processus de traçabilité. Par exemple, un contrat intelligent peut être programmé pour exécuter automatiquement des vérifications de conformité lorsque les pièces détachées changent de propriétaire ou de lieu de stockage. Cela garantit que seules les pièces de rechange authentiques et conformes sont acceptées et utilisées. De plus, la nature décentralisée de la blockchain offre une transparence accrue dans la chaîne logistique. Tous les acteurs impliqués, tels que les fabricants, les distributeurs, les transporteurs et les clients finaux, peuvent avoir accès aux informations de traçabilité pertinentes. Cela favorise la confiance et la collaboration entre les parties prenantes, tout en réduisant les risques de fraude et de contrefaçon.

Table de matières

| | |
|--|-------------|
| Remerciement | I |
| Résumé | II |
| Introduction générale | IV |
| Table de matières | V |
| Table de figures | VII |
| Liste de tableaux | VIII |
| Chapitre I : La technologie blockchain | 9 |
| Introduction | 1 |
| Qu'est-ce que la blockchain | 1 |
| Blockchain vs base de données | 2 |
| Architecture de blockchain | 3 |
| Cryptographie | 4 |
| Algorithmes de consensus blockchain : | 8 |
| Structure de la blockchain | 8 |
| Conclusion | 11 |
| Chapitre II : Lachaînelogistique | 12 |
| Introduction | 13 |
| Le cadre conceptuel du la chaîne logistique | 13 |
| La structure de la chaine logistique | 14 |
| Les trois flux de la chaîne logistique | 16 |
| Phases de la chaîne logistique ou supplychain | 18 |
| Conclusion | 21 |
| Chapitre III : Lesconceptions et les analyses | 22 |
| Introduction | 23 |
| Solution Proposée Basée Sur La Blockchain | 23 |
| Les algorithmes principaux : | 27 |
| Validation et exécution des transactions | 34 |
| Test et validation | 36 |
| Conclusion | 39 |

Conclusion générale 40
Les Références 41

Table de figures

Chapitre I : La technologie blockchain

| | |
|---|----|
| Figure I. 1: Système distribué..... | 1 |
| Figure I. 2: fonctionnement de blockchain..... | 2 |
| Figure I. 3: base de données vs blockchain..... | 3 |
| Figure I. 4: L'architecture de blockchain..... | 4 |
| Figure I. 5: cryptographie..... | 5 |
| Figure I. 6: cryptographie..... | 6 |
| Figure I. 7: cryptographie..... | 6 |
| Figure I. 8: cryptographie..... | 6 |
| Figure I. 9: les transactions..... | 7 |
| Figure I. 10: Structure de blockchain..... | 9 |
| Figure I. 11: : Blockchain public..... | 10 |
| Figure I. 12: Blockchain privée..... | 10 |

Chapitre II : La chaîne logistique

| | |
|--|----|
| Figure II. 1: : Une chaîne logistique [6]..... | 14 |
| Figure II. 2: La structure série [10]..... | 15 |
| Figure II. 3: La structure dyadique [10]..... | 15 |
| Figure II. 4: La structure divergente [10]..... | 15 |
| Figure II. 5: La structure convergente [10]..... | 16 |
| Figure II. 6: La structure réseau [10]..... | 16 |
| Figure II. 7: Les flux de la chaîne logistique. [8]..... | 17 |
| Figure II. 8: Les flux physiques [9]..... | 17 |
| Figure II. 9: Les flux monétaires [9]..... | 18 |
| Figure II. 10: étapes dans la chaîne logistique [7]..... | 18 |

Chapitre III : Les conceptions et les analyses

| | |
|---|----|
| Figure III. 1: les principaux composants interagissant avec le contrat intelligent et la chaîne en résultant..... | 24 |
| Figure III. 2: Diagramme de séquence montrant les différentes interactions entre les entités participantes de l'entreprise avec le Contract intelligence..... | 26 |
| Figure III. 3: Diagramme de séquence montrant les interactions entre différents fournisseurs ou entre le fournisseur et l'FEO..... | 27 |
| Figure III. 4: Remix..... | 34 |
| Figure III. 5: Byte code de notre Smart contract..... | 35 |
| Figure III. 6: Transactions (Etharscan)..... | 35 |
| Figure III. 7: Les fonctions de notre Smart contract..... | 35 |
| Figure III. 8: Journaux montrant une demande d'achat réussie soumise par l'Ingénieur..... | 36 |
| Figure III. 9: Une approbation DA réussie par le gestionnaire de ligne..... | 37 |
| Figure III. 10: Enregistrement montrant un événement émis annonçant que les Pièces détachées requises sont disponibles chez le fournisseur..... | 38 |
| Figure III. 11: Enregistrements indiquant que la demande de bon de commande a été envoyée..... | 38 |

Liste de tableaux

| | |
|--|---|
| Tableau I. 1 : les formes de cryptage..... | 5 |
|--|---|

Chapitre I : La technologie blockchain

Chapitre I : La technologie blockchain

Introduction

Ces dernières années, nous avons entendu parler des crypto-monnaies et des bitcoins dans le monde et de leur adoption dans de nombreux pays et bourses. À partir de cette plate-forme, nous parlerons de la technologie blockchain qui se cache derrière tout cela, et comment elle est devenue la plus controversée sur les marchés mondiaux et sa dépendance à de nombreux domaines.

Qu'est-ce que la blockchain

- C'est la technologie des registres distribués.

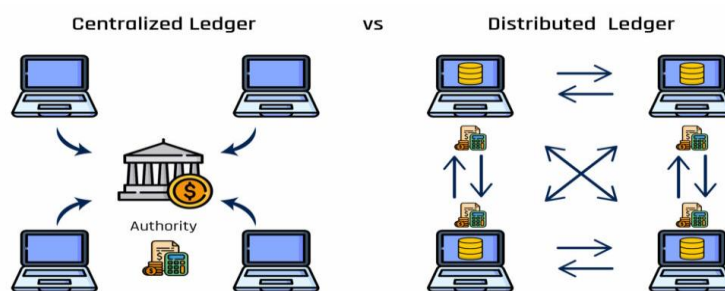


Figure I. 1: Système distribué.

- Une base de données distribuée - un registre public (il est possible d'insérer ou de rechercher des données, mais pas de les mettre à jour ou de les supprimer).
- Un ordinateur distribué - qui exécute des contrats intelligents.
- Basé sur les technologies P2P (peer-to-peer), la cryptographie et les API.
- Blockchain est un grand livre distribué ouvert qui peut enregistrer les transactions entre deux parties de manière efficace et vérifiable et permanente.

Chapitre I : La technologie blockchain

Le fonctionnement de la blockchain

Pour fonctionner, la blockchain nécessite l'utilisation d'une monnaie ou d'un jeton (aussi appelé token) programmable. Vous pouvez par exemple utiliser le Bitcoin. Dans la blockchain, toutes les transactions sont regroupées sous la forme de blocs. Chaque bloc doit ensuite être validé par les nœuds du réseau en utilisant une méthode algorithmique. Une fois que le bloc est validé, il est ajouté à la chaîne de blocs et devient donc visible de tous les utilisateurs. Voici un schéma qui vous permettra d'illustrer cette définition.[1]

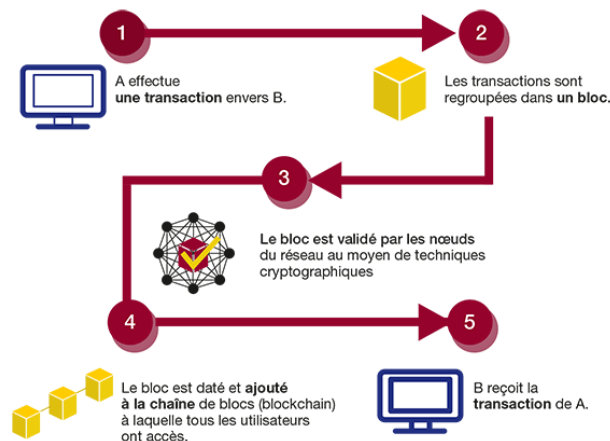


Figure I. 2: fonctionnement de blockchain.

Blockchain vs base de données

La base de données n'utilise généralement pas de blocs pour stocker les données.

Blockchain : c'est une technologie de registre distribué qui permet à un ensemble de pairs de travailler ensemble pour créer un réseau unifié et décentralisé. les pairs peuvent communiquer et partager des informations ou des données à l'aide de l'algorithme de consensus.

Base de données : c'est un registre centralisé géré par un administrateur.

Les blockchains ne diffèrent des autres types de bases de données que par leur mode de stockage et le traitement des données. Bien que les blockchains puissent être considérées comme une base de données, une base de données n'est généralement pas une blockchain.

Chapitre I : La technologie blockchain

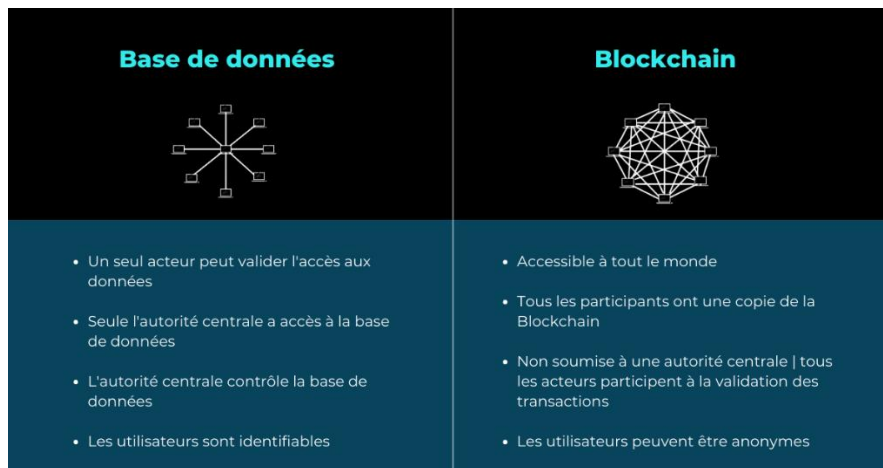


Figure I. 3: base de données vs blockchain.

Architecture de blockchain

L'architecture blockchain divisée en quatre couches : infrastructure, plateforme, informatique distribuée et applications.

- **La couche d'infrastructure** : Comprend tous les composants matériels nécessaires à l'exécution de la blockchain, tels que les nœuds, le stockage et les installations réseau. Les nœuds sont les participants au réseau.
Nœuds (trois types) : simples (également appelés nœuds légers), complets et miniers. Un simple nœud du réseau peut simplement envoyer et recevoir des transactions et ne stocke pas de copie du registre, ni ne valide une transaction, contrairement à un nœud complet. Un nœud de minage (également appelé générateur de blocs) est un nœud complet avec la capacité de minage, c'est-à-dire le processus de génération d'un nouveau bloc. Le composant de stockage le grand livre des enregistrements de transaction.
- **La couche plate-forme** : la couche de plate-forme facilite les appels de procédure à distance, l'interface de programmation d'applications (IPA) Web et les IPAREpresentational State Transfer (REST) pour la communication entre les participants du réseau.
- **La couche informatique distribuée** :
La couche informatique distribuée garantit l'accès local aux données, la tolérance aux pannes, l'immutabilité, la confidentialité, l'authenticité et la sécurité des données de transaction. L'immutabilité est la propriété de la blockchain qui ne permet pas de modifier les enregistrements de transaction une fois mis à jour dans le grand livre. Le réseau blockchain utilise un protocole de consensus pour parvenir à un accord concernant l'ordre des transactions dans le réseau, la mise à jour du grand livre et la sélection d'un mineur pour la prochaine génération de blocs. En outre, cette couche est responsable de l'authentification des utilisateurs à l'aide d'une technique de chiffrement et de la confidentialité des données via une technique de hachage.

Chapitre I : La technologie blockchain

- **La couche application :** c'est la logique métier pour les transactions d'actifs numériques et l'exécution de contrats intelligents. Une application développée sur un réseau blockchain est accessible aux clients utilisant la plateforme.

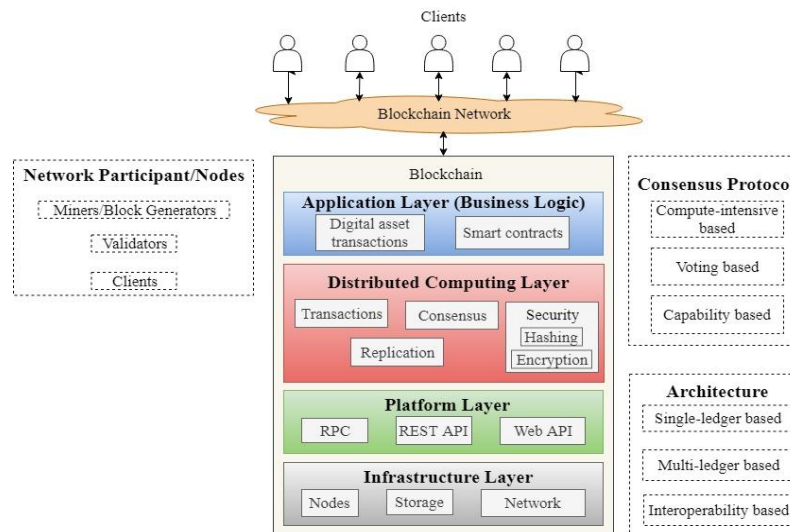


Figure I. 4: L'architecture de blockchain.

Cryptographie

Cryptographie :

Chiffrement et déchiffrement des données deux principaux concepts de cryptographie utilisés dans la technologie Blockchain :

Fonctions de hachage :

Une fonction de hachage (parfois appelée fonction de condensation) est une fonction permettant d'obtenir un condensé (appelé aussi condensat ou haché ou en anglais message digest) d'un texte, c'est-à-dire une suite de caractères assez courte représentant le texte qu'il condense. La fonction de hachage doit être telle qu'elle associe un et un seul haché à un texte en clair (cela signifie que la moindre modification du document entraîne la modification de son haché). D'autre part, il doit s'agir d'une fonction à sens unique (one-way function) afin qu'il soit impossible de retrouver le message original à partir du condensé. S'il existe un moyen de retrouver le message en clair à partir du haché, la fonction de hachage est dite « à brèche secrète ».[2]

Signatures numériques :

est un mécanisme permettant d'authentifier l'auteur d'un document électronique et d'en garantir la non-répudiation, par analogie avec la signature manuscrite d'un document papier.

Chapitre I : La technologie blockchain

Elle se différencie de la signature écrite par le fait qu'elle n'est pas visuelle, mais correspond à une suite de caractères. Elle ne doit pas être confondue avec la signature électronique manuscrite.[3]

Il existe 3 formes de cryptage largement utilisées :

| Cryptographie symétrique | Cryptographie asymétrique | Hash |
|--|--|--|
| Le même mot de passe est utilisé pour chiffrer et déchiffrer les données | Un mot de passe sert à chiffrer les données, un autre à les déchiffrer | Projets dans un espace de dimension fixe |
| Fonction bidirectionnelle | Les mots de passe vont par paires (clé publique / clé privée) | Fonction unidirectionnelle |

Tableau I. 1 : les formes de cryptage.

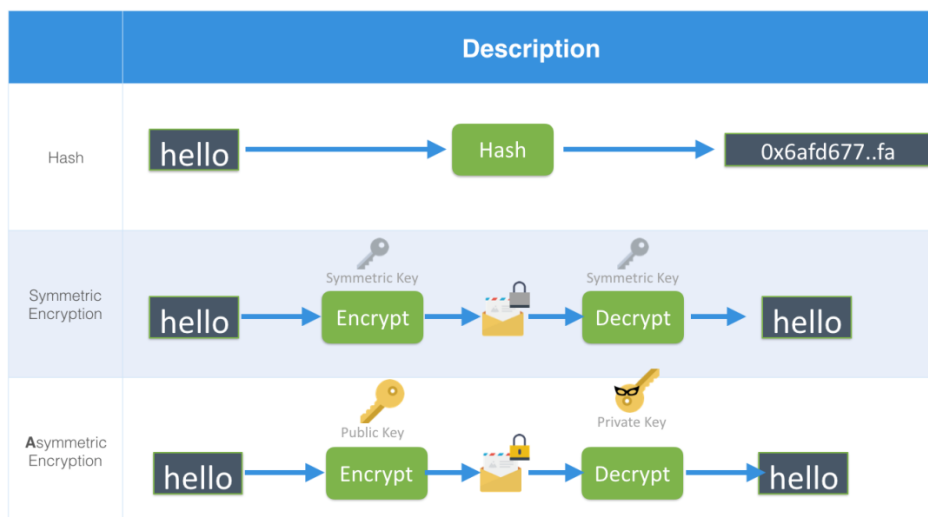


Figure I. 5: cryptographie.

Chapitre I : La technologie blockchain

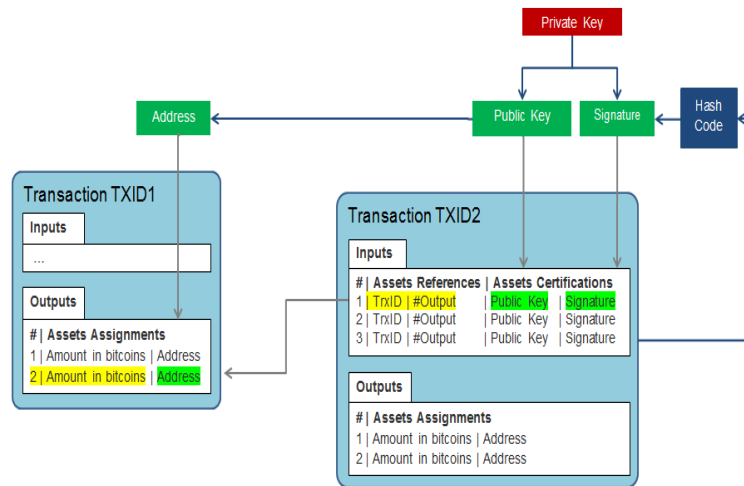


Figure I. 9: les transactions.

Procédure consensuelle

Consensus :

Un mécanisme de consensus permet d'arriver à un accord commun entre différents participants. Dans le cadre d'une blockchain, un mécanisme de consensus permet de garantir la stabilité du système malgré l'indisponibilité ou le mauvais fonctionnement d'un ou plusieurs de ses nœuds (voir Byzantine FaultTolerance) et de conduire à ce que les nœuds arrivent au même état.

Principes et paradigmes des systèmes distribués basé sur un protocole de consensus :

Principes et paradigmes des systèmes distribués Byzantine FaultTolerance (BFT) :

- La fiabilité d'un système tolérant aux pannes, notamment les systèmes distribués, où les composants peuvent tomber en panne et les informations sur leur panne sont imparfaites sur le réseau.
- L'objectif de BFT est de se défendre contre la défaillance des composants du système, avec ou sans symptômes qui empêcheraient d'autres composants d'atteindre un consensus entre eux, lorsque ce consensus est nécessaire au bon fonctionnement du système.
- Un exemple de BFT utilisé est le bitcoin. Le réseau bitcoin fonctionne en parallèle pour générer une blockchain avec une preuve de travail permettant au système de surmonter les défaillances byzantines et d'arriver à une vue globale cohérente de l'état du système.

Chapitre I : La technologie blockchain

Algorithmes de consensus blockchain :

➤ Preuve de travail :

Proof of Work (PoW) est le premier algorithme de consensus créé pour faire respecter le protocole crypto de la blockchain. Utilisé par Bitcoin, il nécessite une grande puissance de calcul, car il repose sur une fonction de hachage. Elle va calculer une empreinte unique nécessaire à la validation du bloc à partir des données fournies. Ce travail de hachage récompense les mineurs qui fournissent la puissance de calcul. [4]

➤ Preuve de participation :

Proof of Stake (PoS) Développé en 2011, le PoS est une méthode alternative au PoW en supprimant notamment le concept de minage physique pour opter pour du minage virtuel qui est notamment moins énergivore et donc plus écologique. Dans le cas des cryptomonnaies, le PoS choisit de manière aléatoire parmi les utilisateurs éligibles celui qui aura le droit de valider le bloc. Une preuve mise en gage doit alors être apportée. [4]

➤ Preuve d'autorité :

Proof of Authority (PoA) Comme le PoW et bien d'autres, le Proof of Authority (PoA) est un algorithme de consensus ayant pour but la mise en application du protocole de la blockchain. Il permet dès lors de valider les transactions et autres interactions avec le réseau, mais aussi de mettre à jour son registre plus ou moins distribué. Ce droit est donné à un nombre restreint et désigné d'acteurs. [4]

Structure de la blockchain

La blockchain se compose de 3 éléments clés :

- Les blocs : les blocs se définissent comme des groupements de transactions. Plus ou moins importants selon le nombre de données qu'ils renferment, ils se distinguent les uns des autres grâce à un identifiant, un code unique appelé "hash". [5]
- Les nœuds : il s'agit des ordinateurs connectés à la blockchain. Chacun d'entre eux héberge une copie de la base de données. Cette copie est téléchargée automatiquement lors de la connexion au réseau et contient l'intégralité des échanges entre utilisateurs. [5]
- Les mineurs : ces derniers sont chargés de vérifier si les nouveaux blocs créés correspondent aux standards de sécurité. Ils possèdent un rôle absolument essentiel au

Chapitre I : La technologie blockchain

sein de la blockchain, puisqu'ils garantissent l'authenticité des blocs, et donc de l'ensemble de la chaîne. [5]

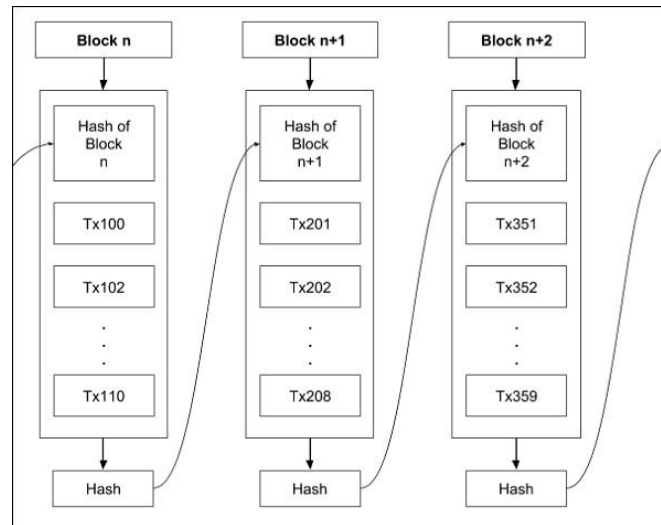


Figure I. 10: Structure de blockchain.

Différents types de blockchain

Plusieurs types de blockchain existent. Ces différentes blockchains sont expliquées plus en détail ci-dessous :

Blockchain publique

- Blocs validés au fur et à mesure sans qu'ils ne puissent être modifiés.
- Nœuds du réseau.
- Le réseau est ouvert à tout nouveau participant.
- Tous les participants peuvent participer à la validation des blocs.
- Tous les participants peuvent lire les données au sein des blocs.

Chapitre I : La technologie blockchain

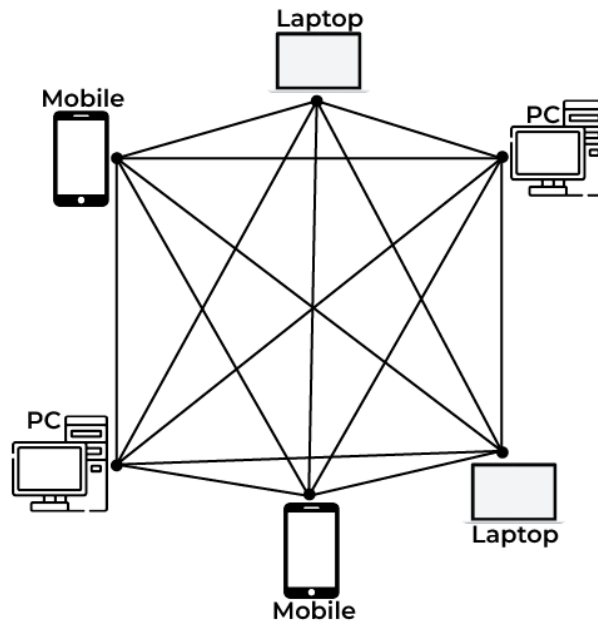


Figure I. 11: : Blockchain public.

Blockchainprivée

- Blocs validés par une autorité et pouvant être modifiés a posteriori.
- Nœuds choisis par l'autorité.
- Les nouveaux nœuds sont acceptés par l'autorité centrale.
- La validation est sous la responsabilité de l'autorité centrale.
- Les droits de lectures peuvent être limités par l'autorité centrale.

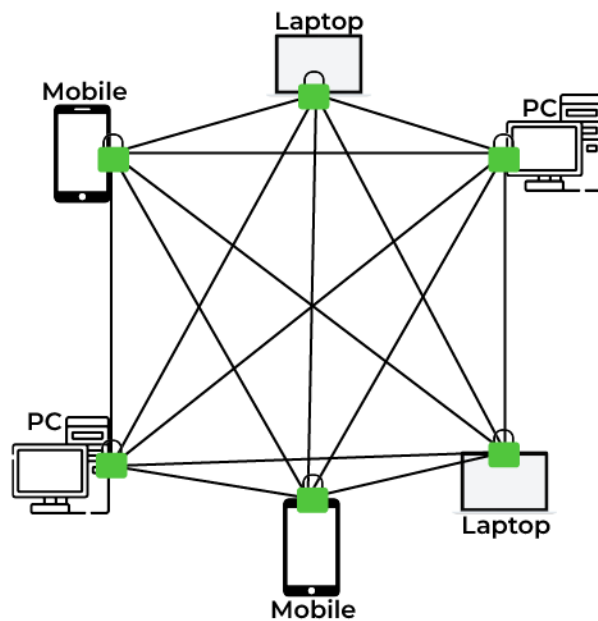


Figure I. 12: Blockchain privée.

Chapitre I : La technologie blockchain

Blockchain consortium

- Blocs validés au fur et à mesure sans qu'ils ne puissent être modifiés.
- Nœuds du réseau.
- Nœuds du réseau autorisés à participer au consensus.
- Les nouveaux nœuds sont acceptés par consensus.
- La validation se fait selon des modalités prédéfinies (accord d'un nombre prévu de nœuds).
- Le droit de lecture peut être public ou limité à certains nœuds.

Conclusion

En conclusion, la technologie blockchain présente des avantages significatifs dans divers domaines. Elle offre un registre décentralisé, sécurisé et immuable des transactions, garantissant l'intégrité des données. Grâce à sa transparence et à sa traçabilité, elle améliore la confiance entre les parties prenantes et réduit les risques de fraude. De plus, les contrats intelligents basés sur la blockchain permettent l'automatisation des processus et des paiements, améliorant l'efficacité et réduisant les coûts. Avec un potentiel considérable, la technologie blockchain ouvre la voie à une nouvelle ère de confiance et de collaboration dans de nombreux secteurs.

Chapitre II : Lachânelogistique

Chapitre II : La chaîne logistique

Introduction

Aujourd'hui, la chaîne logistique n'est plus vue comme un simple « moyen », elle est devenue essentielle pour les entreprises. Dans sa nouvelle fonction, la chaîne d'approvisionnement est portée par des enjeux stratégiques, allant bien au-delà de la technique et du transport.

De nos jours, une bonne gestion de la chaîne logistique signifie livrer le bon produit à la bonne personne et au bon moment, tout en maîtrisant ses coûts et en garantissant la qualité. C'est l'intérêt du Supply Chain Management : passer d'une gestion statique et discontinue, à une gestion active et continue, fondée sur l'échange d'informations.

Le cadre conceptuel du la chaîne logistique

La logistique :

La logistique est une activité parmi tant d'autres dans la chaîne logistique. Elle concerne toutes les étapes relatives à la gestion des stocks, au transport et à la distribution des marchandises. Globalement, la logistique touche au mouvement et à la maintenance des produits commercialisés par l'entreprise. Généralement, les opérations de logistique sont :

- L'entreposage.
- Le stockage.
- La manutention.
- L'emballage.
- Le transport des produits destinés à être envoyés à des clients.

La chaîne logistique :

La chaîne logistique (ou Supply Chain) est l'ensemble des opérations réalisées entre le moment où le client passe une commande et celui où cette dernière est payée et livrée. La Supply Chain gère tout le processus, qui va de la création du produit à sa livraison finale. L'objectif étant de simplifier les organisations afin d'offrir le meilleur service possible au client.

Les trois principales étapes de la chaîne logistique sont :

- L'approvisionnement.
- La production.

Chapitre II : La chaîne logistique

- La distribution.

La gestion de la chaîne logistique (GCL):

(En anglais supplychain management, SCM) consiste à améliorer la gestion des flux qui vont du " fournisseur du fournisseur " jusqu'au " client du client ".

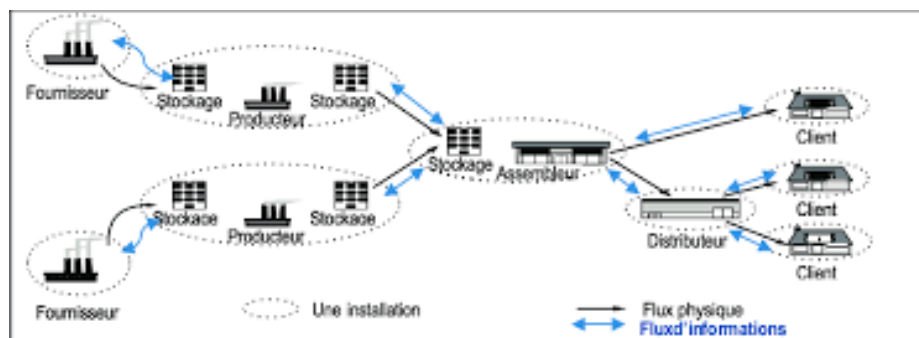


Figure II. 1: : Une chaîne logistique [6].

La structure de la chaîne logistique

Il est important d'identifier une structure qui permet de caractériser les entités qui interagissent pour former une chaîne logistique. Toutefois et vu la grande variété des types de fabrication et des périmètres des chaînes, il est difficile de cerner l'ensemble des cas réels des structures des chaînes logistiques dans la littérature scientifique, on distingue un ensemble de typologies usuelles, sur lesquelles sont fondées les modélisations existantes. Décomposent par exemple, ces structures en : série, dyadique, divergente, convergente et réseau.[10]

La structure série : Elle correspond à un procédé de fabrication linéaire et vertical. Cette structure peut être utilisée, par exemple, pour étudier l'influence de la propagation de l'information sur l'ensemble de la chaîne.

Chapitre II : La chaîne logistique

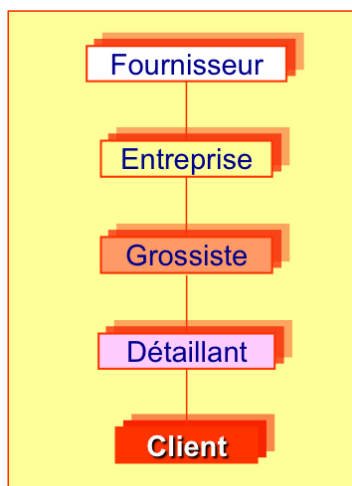


Figure II. 2: La structure série [10] .

La structure dyadique : Elle peut être vue comme un cas particulier d'une chaîne logistique en série, limitée à 2 étages. Elle peut servir de base à l'étude de relations client/fournisseur ou donneur d'ordre/sous-traitant.

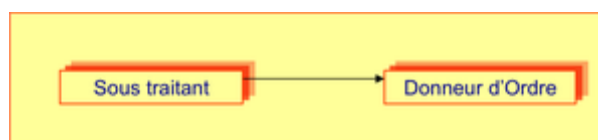


Figure II. 3: La structure dyadique [10].

La structure divergente : Elle permet de représenter un réseau de distribution où la matière part d'un point unique et se distribue à travers la chaîne.

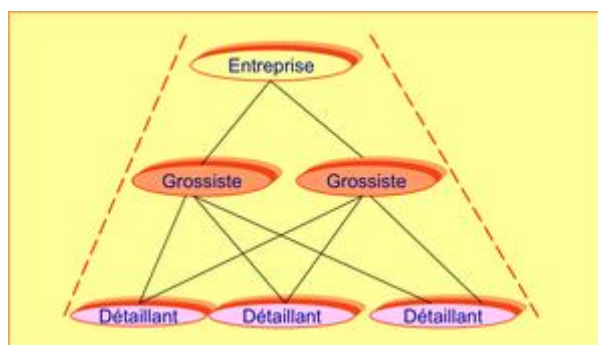


Figure II. 4: La structure divergente [10].

La structure convergente : Elle permet de modéliser un processus d'assemblage. Dans une chaîne convergente, la matière qui circule entre les sites converge vers un seul et même site qui est logiquement le lieu d'assemblage final.

Chapitre II : La chaîne logistique

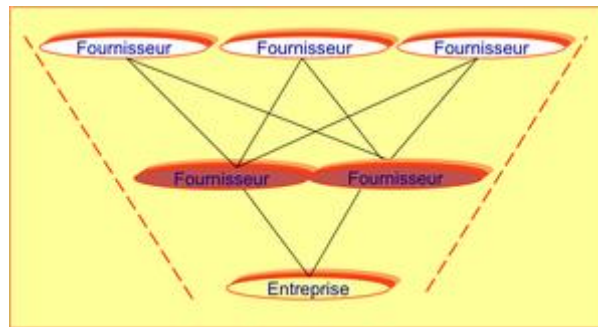


Figure II. 5: La structure convergente [10].

La structure réseau : est une combinaison des deux structures précédentes. Elle permet de considérer à la fois les aspects approvisionnements et distribution, mais peut s'avérer plus complexe par le nombre d'acteurs impliqués, en particulier pour des produits complexes.

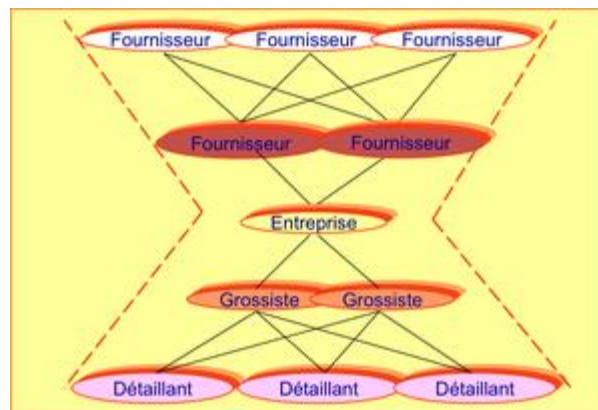


Figure II. 6: La structure réseau [10].

Les trois flux de la chaîne logistique

L'ensemble des opérations effectuées par une entreprise (achat, production, vente, financement et investissement) avec ses partenaires donne lieu à des échanges, des transferts. Ces transferts sont appelés FLUX. Il existe 3 types de flux, les flux physiques, les flux monétaires et les flux d'informations :

Chapitre II : La chaîne logistique

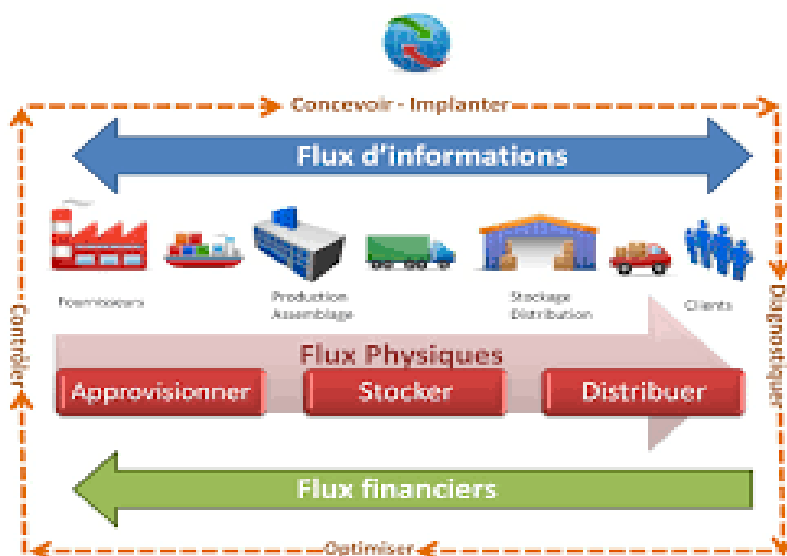


Figure II. 7: Les flux de la chaîne logistique. [8].

Les flux physiques (ou flux réels) : Un flux physique correspond à un transfert de biens ou services. Exemples : l'achat de matières premières, le transfert de ces matières dans les différents ateliers de production, le travail des salariés, la vente de produits finis, l'achat d'une prestation de services (expert-comptable) ... En dehors de la distinction flux physique de biens / flux physique de services, on remarque qu'on peut classer ces différents flux physiques en :

- Flux physiques externes : ce sont des flux physiques qui concernent l'entreprise et ses partenaires.
- Flux physiques internes : ce sont des flux physiques qui concernent des transferts à l'intérieur de l'entreprise.



Figure II. 8: Les flux physiques [9].

Les flux monétaires (flux financière) : Un flux monétaire représente un transfert d'argent. Exemples : paiement d'un fournisseur, règlement d'un client, remboursement d'un emprunt contracté auprès d'une banque, paiement des salariés...

Chapitre II : La chaîne logistique

FLUX FINANCIERS



Figure II. 9: Les flux monétaires [9].

Les flux d'informations : Un flux d'information représente un transfert d'informations, à l'intérieur de l'entreprise (flux interne) ou entre l'entreprise et ses partenaires (flux externe).

Phases de la chaîne logistique ou supplychain

La planification est la première étape de toute activité industrielle. **Comment on va fabriquer, où on va fabriquer ou quels processus et quels outils vont être utilisés**, voilà les points qui doivent être parfaitement définis au préalable.

En fonction du type de produit, il faudra chercher les installations et les conditions de stockage appropriées, les conditionnements et les emballages à utiliser, les mesures de sécurité, les processus de fabrication, les tests de qualité, etc.

Planifier minutieusement les éléments en rapport avec la chaîne logistique ou supplychain est la meilleure façon de fonctionner en termes de rapidité et d'efficacité. Comme dans toute activité industrielle, il faut prendre en compte des aspects tels que le lieu de fabrication, les ressources humaines et matérielles qui seront nécessaires, les installations et les conditions de stockage, les **standards de qualité et les réglementations** à suivre, etc. Après cette phase 0 ou de définition stratégique préalable, on peut distinguer **4 grandes étapes dans la chaîne logistique ou supplychain**. [7]

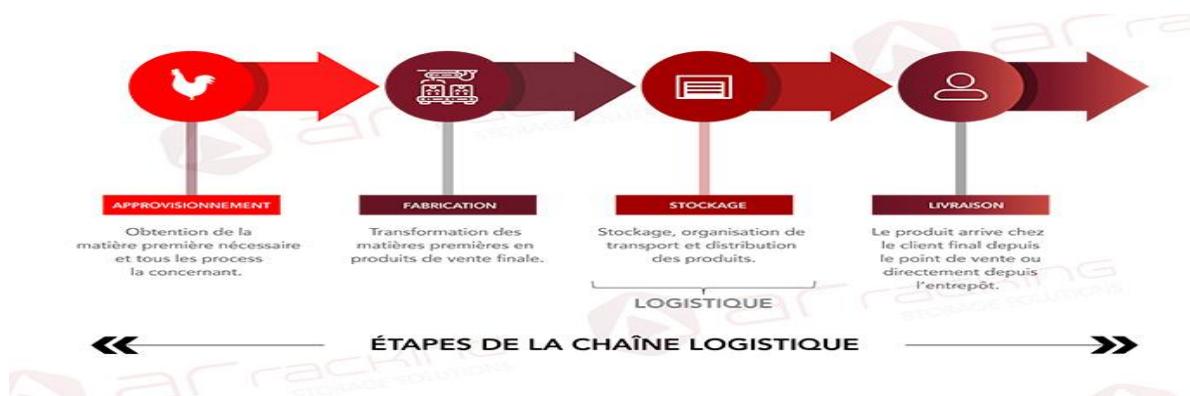


Figure II. 10: étapes dans la chaîne logistique [7].

Approvisionnement : C'est la phase centrée sur les activités nécessaires pour obtenir les matières premières et les sous-produits nécessaires pour la fabrication des produits qui seront

Chapitre II : La chaîne logistique

vendus. Au cours de cette étape de la chaîne logistique, il est important de bien planifier et de bien coordonner la disponibilité des matériels, leur quantité et le temps qu'ils requièrent. [7]

Fabrication / production : Dans cette phase sont inclus tous les processus en rapport avec la création et l'élaboration du produit, c'est-à-dire, les opérations nécessaires pour la transformation des matières premières en produits et leur fabrication en série. L'optimisation du process industriel joue un rôle différentiel dans la standardisation des opérations et favorise donc un cycle plus souple et plus effectif. [7]

Dans cette phase sont inclus tous les processus en rapport avec la création et l'élaboration du produit, c'est-à-dire, les opérations nécessaires pour la transformation des matières premières en produits et leur fabrication en série. L'optimisation du process industriel joue un rôle différentiel dans la standardisation des opérations et favorise donc un cycle plus souple et plus effectif. [7]

Stockage : Phase centrale de la chaîne logistique, le stockage consiste en la manipulation temporaire des marchandises, et le maintien sous contrôle de leur qualité et leur quantité dans un espace déterminé de façon à ce que leur flux d'entrée et de sortie soit rentable pour l'entreprise. Au cours de cette phase, de nombreux facteurs entrent en ligne de compte et peuvent faire la différence entre une gestion efficace de la chaîne logistique et de l'activité d'une entreprise ou la mauvaise dérive d'une affaire. Les entrepôts et / ou les centres de distribution forment l'axe de cette étape. Une gestion correcte prévoira les potentiels pics de production ou les fluctuations de la demande et leur influence sur le stock et sur sa gestion. En même temps, la gestion de stockage tiendra compte des coûts de stockage et de provision pour éviter la hausse du coût du produit ou du service final, tout en garantissant une réponse optimale à différents niveaux de demande et en maintenant les inventaires dans les niveaux exigés par l'activité. C'est pour cela que le choix du type de rayonnage industriel à installer dans l'entrepôt sera extrêmement important.[7]

Distribution et livraison : Nous parlons de la dernière étape de la chaîne logistique, au cours de laquelle le produit arrive au client final. Cette étape débute avec la sortie de l'entrepôt ou du centre de distribution jusqu'à la livraison du produit au client final. L'objectif, outre le fait d'effectuer la livraison à la destination finale, devrait être que le produit arrive chez le client en bon état et dans les délais stipulés.

Chapitre II : La chaîne logistique

La phase qui boucle le cycle de la chaîne logistique ou supplychain est la phase qui correspond à la distribution et à la livraison, mais on pourrait inclure une autre étape. Il s'agit de l'étape des retours (renvois), dans laquelle s'enclenche un processus inverse à savoir que le client final retourne le produit à l'entreprise. L'essor expérimenté par le commerce électronique ces dernières années a obligé les chaînes logistiques à s'y adapter.

Nous parlons de la dernière étape de la chaîne logistique, au cours de laquelle le produit arrive au client final. Cette étape débute avec la sortie de l'entrepôt ou du centre de distribution jusqu'à la livraison du produit au client final. L'objectif, outre le fait d'effectuer la livraison à la destination finale, devrait être que le produit arrive chez le client en bon état et dans les délais stipulés.

La phase qui boucle le cycle de la chaîne logistique ou supplychain est la phase qui correspond à la distribution et à la livraison, mais on pourrait inclure une autre étape. Il s'agit de l'étape des retours (renvois), dans laquelle s'enclenche un processus inverse à savoir que le client final retourne le produit à l'entreprise. L'essor expérimenté par le commerce électronique ces dernières années a obligé les chaînes logistiques à s'y adapter. [7]

Les enjeux des Supply Chain

- Une contribution directe à la création d'avantages concurrentiels ;
- Un appui à la mise en œuvre de stratégies d'entreprise ;
- Une démunition des capitaux immobilisés dans les opérations logistiques.

Importance, objectifs de gestion La chaîne logistique à avantages

Importance :

- Le besoin d'amélioration des processus ;
- Augmenter le niveau des achats externes ;
- Réduire les coûts de transport ;
- Accroître l'importance du commerce électronique ;
- Accroissement des pressions concurrentielles et expansion de la mondialisation.

Objectifs de gestion de la chaîne logistique : Il existe plusieurs objectifs principaux de la gestion de la chaîne d'approvisionnement :

- Obtenir le bon produit au bon endroit au bon moment et au moindre coût ;
- Maintenir les stocks aussi bas que possible et fournir le meilleur service client ;

Chapitre II : La chaîne logistique

- Réduire le temps de cycle de production et éviter les goulots d'étranglement et les pannes ;
- Créer de la valeur pour le client et toutes les parties prenantes de l'organisation ;
- Atteindre la meilleure coordination entre les flux entrants et sortants (entrées et sorties), ou ce que l'on appelle la gestion des flux.

Avantages de la gestion de la chaîne logistique

- Réduire les coûts d'approvisionnement et d'investissement et augmenter la part de marché et les ventes ;
- Améliorer le profit marginal du produit et augmenter les flux de trésorerie ;
- Augmenter l'efficacité de la fabrication et de la production à tous les niveaux et réaliser un travail exceptionnel ;
- Atteindre le contact et l'acquisition de clients ;
- Atteindre l'excellence opérationnelle et augmenter la valeur marchande de l'organisation.

Conclusion

L'avenir de la supply chain réside donc dans l'analyse et la fiabilisation des données. Elle aide à la prise de décision grâce aux systèmes d'information. L'analyse des données permet de comprendre comment fonctionnent les mécanismes aujourd'hui, leur efficacité et leur inefficacité. Elle aide ainsi les entreprises à orienter leurs stratégies. Que ce soit en matière, d'investir dans des méthodes, des infrastructures et des concepts plus performants. Le tout lui permettant de produire mieux, plus rapidement et à moindre coût. Et ainsi d'honorer sa promesse aux clients : livrer vite, livrer bien, au bon moment, au bon endroit et au meilleur prix. Voilà en résumé une définition de la supply chain synthétique.

Chapitre III : Les conceptions et les analyses

Chapitre III : Les conceptions et les analyses

Introduction

Les pièces de rechange sont des atouts essentiels pour maintenir la productivité et les opérations. Une pièce de rechange est utilisée pour la réparation ou le remplacement des unités défectueuses. La traçabilité et le suivi de la propriété des pièces de rechange peuvent aider à garantir des résultats fiables en termes d'opérations de fabrication et de prestation de services. Cependant, la réserve d'aujourd'hui les systèmes d'inventaire des pièces ne fournissent pas une traçabilité et un suivi fiables de la propriété des pièces de rechange, ce qui menace sérieusement leur authenticité. En outre, les approches et systèmes actuels mis à profit pour les pièces de rechange gestion des stocks sont vulnérables au point de défaillance unique.

Dans ce chapitre, nous proposons une blockchain - basé sur un contrat intelligent pour tracer les détails de propriété des pièces de rechange de l'équipement d'origine fabricant aux utilisateurs finaux. Nous exploitons les fonctionnalités de la blockchain pour créer un environnement sécurisé et fiable système d'inventaire des pièces de rechange.

Le système proposé intègre le stockage décentralisé des systèmes de fichiers interplanétaires (IPFS) pour stocker et partager des données sur les pièces de rechange. Nous présentons les algorithmes ainsi que leurs détails de mise en œuvre complets. Nous effectuons test et validation du contrat intelligent.

Solution Proposée Basée Sur La Blockchain

Dans cette solution basée sur la blockchain qui peut garantir la traçabilité sécurisée et fiable, accessibilité, l'immutabilité et la provenance des données des pièces de rechange ; nous développons des codes de contrats intelligents et algorithmes pour implémenter les fonctions requise , déclencher des événements, intégrons notre système basé sur la blockchain avec le système de fichiers interplanétaire (IPFS) pour stocker en toute sécurité les détails des composants de pièces de rechange dans un système décentralisé chemin ; et faire une analyse de sécurité et des coûts pour évaluer la fiabilité et praticité de la solution proposée. La figure 3-1 montre les composants du système ainsi que les interactions entre les différents participants entités et les contrats intelligents.

Chapitre III : Les conceptions et les analyses

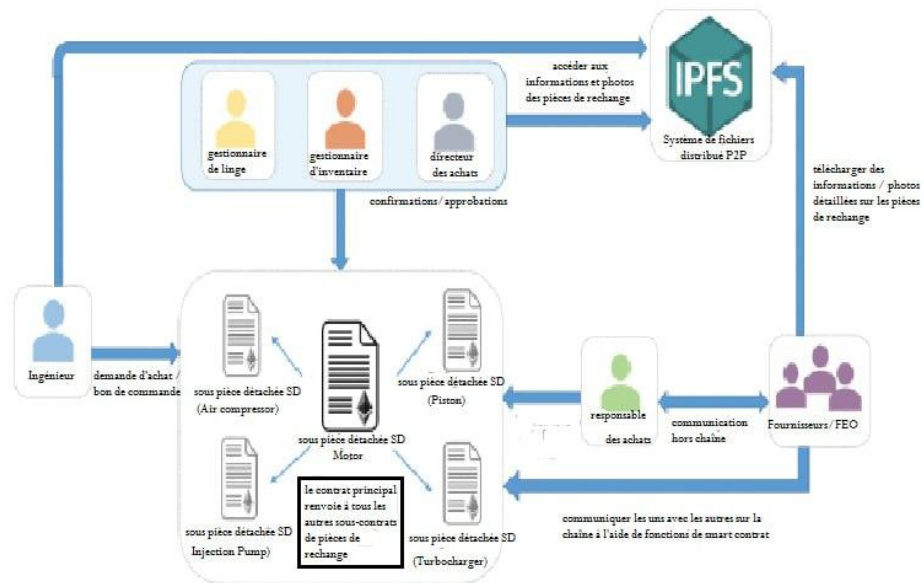


Figure III. 1: les principaux composants interagissant avec le contrat intelligent et la chaîne en résultant.

Entités participantes : les fournisseurs et l'original Le fabricant d'équipement (OFE) interagit généralement avec les entités participantes d'une société par l'intermédiaire du responsable des achats. Les entités participantes comprennent ingénieur, responsable de ligne, responsable des stocks, achat responsable et responsable des achats. Toutes les entités participantes possèdent des adresses Ethereum pour interagir les uns avec les autres via le réseau blockchain. Les entités participantes accéderaient à une application décentralisée pour communiquer avec le client blockchain via web3 et JSON-RPC. L'ingénieur initie les demandes telles que la demande d'achat (DA) et la bon de commande (BC). La ligne, l'inventaire et l'achat les gestionnaires approuvent les demandes et font des confirmations en fonction de leurs rôles. Pour satisfaire les besoins de confidentialité d'une organisation, les interactions entre les fournisseurs et Les OFE ne sont vus/entendus que par le responsable des achats. De plus, toutes les interactions de l'organisation les employés sont limités à un certain nombre d'entités (vu/entendu). Une blockchain publique peut être utilisée pour répondre une telle exigence.

- **Serveur IPFS :** IPFS est une partie essentielle de la proposition de solution basée sur la blockchain. Il stocke tous les des images de la pièce de rechange sous différents angles également que les devis d'achat (DA) des fournisseurs et FEO. Les enchérisseurs fournissent leurs hachages IPFS lorsqu'ils présentent leurs DA au

Chapitre III : Les conceptions et les analyses

responsable des achats et autres entités d'une organisation. Stocker ces données sur la chaîne peut être extrêmement coûteuse. Alternativement, l'IPFS est une option de stockage émergente qui rend le solution faisable et inviolable.

- **Smart Contracts** : Chaque pièce de rechange a son smart contract. Une pièce de rechange peut être assemblée à partir d'autres pièces de rechange les pièces. Par conséquent, chaque pièce de rechange assemblée pointe à d'autres contrats intelligents. Par conséquent, le parent intelligent contrat aura les adresses de tous les sous-contrats intelligents.

Nous développons le smart contract. en langage Solidity en utilisant le Remix IDE[11]. Le système basé sur la blockchain est vérifié utilisant le smart contract Ethereum qui enregistre toutes les informations de la communication entre les entités participantes. Dans cette section, nous discutons des détails complets de mise en œuvre ainsi que algorithmes. Notre proposition de tracer et de suivre la propriété dès les pièces détachées est générique et peut donc être mise en œuvre sur une infrastructure de blockchain publique ou privée. Les entités participantes peuvent être Seuls les fournisseurs de fabricants d'équipement d'origine (FEO) et les personnes intéressées à posséder des la pièce détachée Où il peut s'agir d'ingénieurs et de cadres d'une entreprise de En plus des équipementiers et des fournisseurs.

Chapitre III : Les conceptions et les analyses

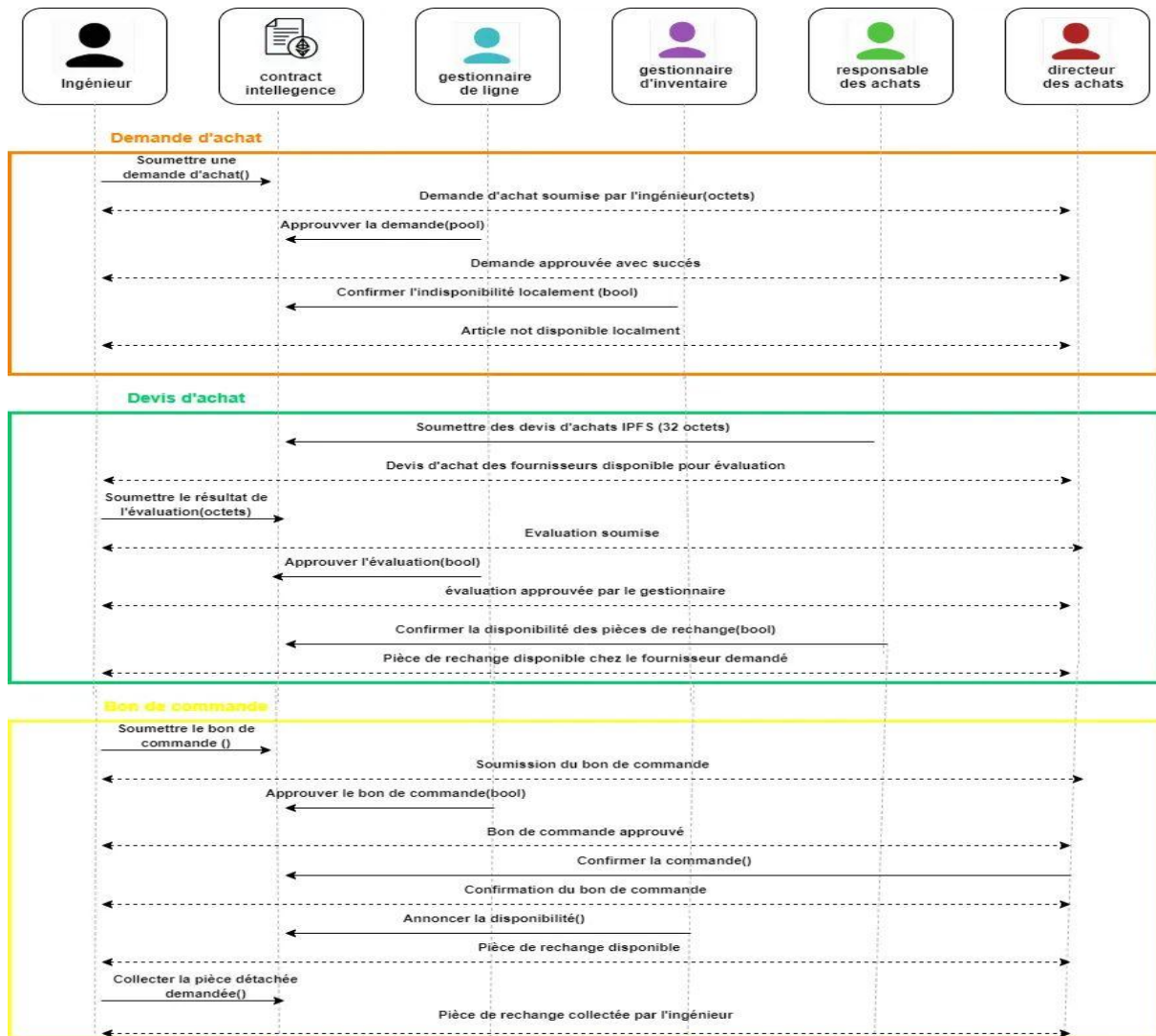


Figure III. 2: Diagramme de séquence montrant les différentes interactions entre les entités participantes de l'entreprise avec le Contract Intelligence.

La figure 3.1 montre les interactions séquentielles entre les Membres d'une entreprise lorsqu'une pièce détachée est nécessaire pour Entretien. L'ingénieur initie la demande en faisant un DA qui est approuvé par le supérieur hiérarchique. L'inventaire est vérifié pour s'assurer que la pièce de rechange disponible ou non localement. Ceci est suivi par les DVA qui sont fournis par le responsable des achats. Le responsable des achats est le seul membre autorisé à écouter/voir la communication entre les fournisseurs et l'FEO. Par conséquent, l'approvisionnement le gestionnaire transmet les informations de hachage IPFS fournies par les fournisseurs et soumissionnaires à l'ingénieur pour examiner et analyser selon les spécifications et critères demandés. Dans la phase finale, le bon de commande est placé par l'ingénieur et est approuvé par le supérieur hiérarchique et le responsable des achats. Il est important de mentionner que la pièce de détachée reçue a été fabriquée à l'origine par l'FEO puis fourni à l'entreprise soit par l'intermédiaire de l'FEO, soit par l'intermédiaire d'un

Chapitre III : Les conceptions et les analyses

fournisseur qui l'a acheté auprès de l'FEO ou d'un autre fournisseur. Donc, pour tracer et suivre les détails de propriété de la pièce détachée, la déchéance de propriété de la pièce détachée doit être connecté à la chaîne.

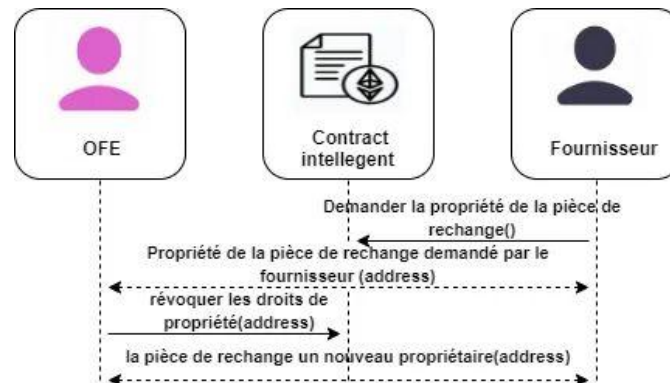


Figure III. 3: Diagramme de séquence montrant les interactions entre différents fournisseurs ou entre le fournisseur et l'FEO.

L'interaction entre l'FEO et les fournisseurs est expliquée dans la Figure 3.2. La propriété des pièces de rechange demandée par le fournisseur est trans au nouveau propriétaire une fois le paiement effectué en utilisant le smart contract. fournisseurs ou entre le fournisseur et l'FEO. Le traçage des enregistrements de propriété peut être agréable en utilisant les capacités de journalisation inviolables de blockchain et smart contrats. Détails des appels de fonction et de leurs événements sont présentés dans le cadre des algorithmes. Chaque fonction contient un changement d'état et est limité en fonction de l'état actuel de la smart contracte. ainsi que les modificateurs. Les modificateurs restreignent et contrôler qui peut initier un appel de fonction. Aussi, le matériel et Normes d'équipement et numéro de code (MESC) et numéro d'identification du la pièce de rechange est utilisée dans les algorithmes pour enregistrer la pièce de rechange.

Les algorithmes principaux :

A- SOUMETTRE UNE DEMANDE D'ACHAT

Seul un ingénieur peut soumettre une demande d'achat pour un pièce détachée requise lorsque le statut est « besoins PD » Ce statut indique que la pièce détachée est actuellement indisponible dans l'inventaire local, et doit donc être acheté. À la fin de cette demande, l'état est mis à jour sur "DA Soumettre" et un événement est déclenché pour notifier les entités participantes, comme cela peut être vu dans l'algorithme 1.

Algorithme 1 : Soumettre une demande d'achat

Input : caller, PDlocal, MESC, Ingenieur,

caller contient l'adresse Ethereum de l'appelant de la fonction

```
if caller ==Ingenieur then
    if PDlocal == besoinsPD then
```

B- APPROBATION DE LA DEMANDE D'ACHAT

Algorithme 2: Approuver la demande l'achat

```
Input : caller, PDlocal, résultat, gestionnaire de linge
caller est l'adresse Ethereum de l'appelant de la fonction.
résultat est une entrée booléen du gestionnaire.
if caller == gestionnaire de linge then
  if PDlocal == DASoumettre then
    if résultat == true then
      PDlocal == DAApprouver.
      émettre un événement pour informer les auditeurs
      de l'approbation réussie du DA.
    end
  else
    C'est un événement pour informer les auditeurs que
    le DA n est pas approuvé.
  end
end
else
  Inverser l'état du contrat à l'état précédent et
  afficher une erreur.
end
end
else
  Inverser l'état du contrat à l'état précédent et
  afficher une erreur.
end
end
```

Une fois le PR donné par l'ingénieur, le gestionnaire de linge Il doit approuver la demande. L'algorithme 2 montre comment l'état Il est mis à jour lorsque le gestionnaire de linge approuve la demande.

C. CONFIRMATION DE L'INDISPONIBILITÉ DE LA PIÈCE DE RECHANGE

Algorithme 3 : Confirmant l'indisponibilité de la pièce détachée local

```
Input : caller, PDlocal, résultat, gestionnaire d'inventaire
caller est l'adresse Ethereum de l'appelant de la fonction.
résultat est un booléen entrée par le gestionnaire d'inventaire.
if caller == gestionnaire d'inventaire then
```


Chapitre III : Les conceptions et les analyses

Après l'approbation du DA, le gestionnaire de ligne crée une notification qui informe le responsable de l'inventaire de confirmer l'indisponibilité de la pièce détachée dans l'inventaire local. Le gestionnaire d'inventaire suit l'algorithme 3 lors de la confirmation que l'article n'est pas disponible localement.

D. SOUMETTRE LES DEVIS D'ACHAT IPFS HASH

Algorithme 4 : Soumettre les devis d'achat

```
Input : caller, PDlocal, ipfs, responsable des achats
caller est l'adresse Ethereum de l'appelant de la fonction.
ipfs est-ce que le hash ipfs des fournisseurs est DVA
if caller == responsable des achats then
  if PDlocal == NonDisponibleLocalement then
    Créer une notification pour annoncer la disponibilité
    des DVA fournisseurs pour évaluation
    PDlocal == DVAsoumettre .
  end
else
  Erreur d'inversion de l'état du contrat à celui précédent.
end
end
else
  Erreur d'inversion de l'état du contrat à celui précédent.
end
```

Chapitre III : Les conceptions et les analyses

La phase suivante après l'obtention de l'approbation du DA consiste à soumettre DVA à l'ingénieur pour évaluation. Le responsable des achats qui est le seul en contact avec les fournisseurs et les soumissionnaires soumet le hachage IPFS des DVA sur la chaîne, comme on peut le voir dans l'algorithme 4.

E. SOUMETTRE LES RÉSULTATS DE L'ÉVALUATION

Algorithme 5 : Soumettre le résultat de l'évaluation

```
Input : caller, PDlocal, Engénieur, CodeFournisseur
caller est l'adresse Ethereum de l'appelant de la fonction.
CodeFournisseur est l'entrée utilisée par l'ingénieur qui identifie
de manière unique une entreprise.
if caller == Engénieur then
  if PDlocal == DVASoumettre then
    PDlocal = EvaluationSoumise.
  end
else
  Afficher une erreur et inverser l'état du contrat au précédent.
end
end
else
  Afficher une erreur et inverser l'état du contrat au précédent.
end
end
```

L'ingénieur évalue les devis des fournisseurs en fonction sur les critères et les exigences de l'entreprise. L'ingénierie est responsable de choisir le fournisseur et le sous-traitant les mieux adaptés. mit le code d'identification unique du fournisseur comme indiqué dans l'algorithme 5.

F. APPROBATION DE L'ÉVALUATION DE L'INGÉNIEUR

Algorithme 6 : Approuver l'évaluation

```
Input : caller, PDlocal, résultat, gestionnaire de ligne
caller est l'adresse Ethereum de l'appelant de la fonction.
résultat est un booléen utilisé comme entrée.
if caller == gestionnaire de ligne then
  if PDlocal == EvaluationSoumise then
    if résultat == True then
      Émettre un événement indiquant que l'évaluation est approuvée
      par le gestionnaire.
      PDlocal = EvaluationApprouve.
    end
  else
    Émettre un événement indiquant que l'évaluation n'est pas
    Approuvée par le gestionnaire.
  end
else
  Inverser l'état du contrat et afficher une erreur.
end
end
else
  Inverser l'état du contrat et afficher une erreur.
end
end
```

Chapitre III : Les conceptions et les analyses

Le gestionnaire de ligne est tenu d'approuver la soumit par l'ingénieur pour compléter le processus d'achat. L'algorithme 6 présente ce processus.

G. CONFIRMATION DE LA DISPONIBILITÉ ACTUELLE DES PIÈCES DE RECHANGE À LE FOURNISSEUR

Algorithme 7 : Confirmant la disponibilité actuelle des pièces détachées
Chez le fournisseur choisi

```
Input : caller, PDlocal, résultat, DirecteurAchats
caller est l'adresse Ethereum de l'appelant de la fonction.
résultat est un entrée booléen.
if caller == DirecteurAchats then
  if PDlocal == EvaluationApprouve then
    if résultat == True then
      Émettre une notification annonçant la disponibilité de la
      pièces détachées chez le fournisseur demandé.
      PDlocal = DisponibilitéPiècesDétachéesConfirmée.
    end
  else
    Émettre une notification annonçant la disponibilité de la
    pièces détachées chez le fournisseur demandé.
  end
  else
    Inverser l'état du contrat et afficher une erreur.
  end
end
else
  Inverser l'état du contrat et afficher une erreur.
end
end
```

Un résultat d'évaluation approuvé permet au responsable de l'approvisionnement pour intervenir et confirmer que la pièce détachée est actuellement disponible avec le fournisseur choisi. C'est la dernière étape de la phase de devis d'achat qui conduit à réaliser une demande de bon de commande si tout va bien. Il est géré par le Directeur des achats tel que présenté dans l'algorithme 7.

H. SOUMETTRE UN BON DE COMMANDE

Algorithme 8 : Soumettre un bon de commande

```
Input : caller, PDlocal, Engénieur
caller est l'adresse Ethereum de l'appelant de la fonction.
if caller == Engénieur then
  if PDlocal = DisponibilitéPiècesDétachéesConfirmée then
    PDlocal = BonCommandeSoumis.
    Émettre un événement pour informer tout le
    Monde qu'un bon de commande est soumis.
  end
  else
    Prévisualiser une erreur après avoir remis le
    Contrat à son état précédent.
  end
end
else
  Prévisualiser une erreur après avoir remis le
  Contrat à son état précédent.
end
```

Chapitre III : Les conceptions et les analyses

Le bon de commande est placé par l'ingénieur via un appel de fonction, comme on peut le voir dans l'algorithme 8. Lorsque le BC est placé, l'état est automatiquement mis à jour.

I. APPROBATION DU BON DE COMMANDE

Algorithme 9 : Approuvé Bon de Commande

```
Input : caller, PDlocal, résultat, gestionnaire de linge
caller est l'adresse Ethereum de l'appelant de la fonction.
résultat est une entrée booléen.
if caller == gestionnaire de linge then
  if PDlocal == DisponibilitéPiècesDétachéesConfirmée then
    if résultat = True then
      Émettre une notification annonçant l'approbation du BC
      PDlocal = BonCommandeApprouvé.
    end
  else
    Émettre une notification annonçant la suppression de la
    requête BC.
  end
else
  Inverser l'état du contrat et afficher une erreur.
end
end
else
  Inverser l'état du contrat et afficher une erreur.
end
end
```

Le supérieur hiérarchique approuve la demande de l'ingénieur contre le PO comme indiqué dans l'algorithme 9. Un booléen est passé comme un paramètre à la fonction pour approuver la demande.

J. CONFIRMATION DU BON DE COMMANDE PAR LE RESPONSABLE DES ACHATS

Algorithme 10: Confirmation du bon de commande

```
Input : caller, PDlocal, Ingénieur, ResponsableAchats
caller est l'adresse Ethereum de l'appelant de la fonction.
if caller == ResponsableAchats then
  if PDlocal = BonCommandeApprouvé then
    PDlocal = BonCommandeConfirmé.
    Émettre un événement pour avertir tout le monde
    qu'un bon de commande est confirmé.
  end
else
  Prévisualiser une erreur après avoir remis le
  Contrat à son état précédent.
end
end
else
  Prévisualiser une erreur après avoir remis le
  Contrat à son état précédent.
end
end
```

Le responsable des achats est responsable de confirmer le bon de commande. Le processus de paiement et de livraison peut être effectué sur la chaîne comme discuté en détail

Chapitre III : Les conceptions et les analyses

à l'aide d'une solution basée sur la blockchain de preuve de livraison. L'algorithme 10 explique les détails de la confirmation du bon de commande par le responsable des achats.

K. ANNONCE DE LA DISPONIBILITÉ DE LA PIÈCE DE RECHANGE DANS L'INVENTAIRE

Algorithme 11 : Annonçant la disponibilité des Pièces Détachées

```
Input : caller, PDlocal, gestionnaire d'inventaire
caller est l'adresse Ethereum de l'appelant de la fonction.
if caller == gestionnaire d'inventaire then
    if PDlocal = BonCommandConfirmé. then
        PDlocal = AnnonçantInventaire.
        Émettre un événement pour informer tout le monde
        la pièce Détachées commandée est maintenant disponible.
    end
    else
        Prévisualiser une erreur après avoir remis le
        contrat à son état précédent.
    end
end
else
    Prévisualiser une erreur après avoir remis le
    Contrat à son état précédent.
end
```

L'approvisionnement réussi de la pièce de rechange la rend localement disponible dans l'inventaire. Le gestionnaire d'inventaire crée une notification et annonce la disponibilité du produit demandé pièce de rechange en utilisant l'algorithme 11.

L. RÉCUPÉRATION DE LA PIÈCE DE RECHANGE DEMANDÉE

Algorithme 12 : Annonce de la disponibilité des Pièces détachées

```
Input : caller, PDlocal, Ingénieur
caller est l'adresse Ethereum de l'appelant de la fonction.
If caller == Ingénieur then
    If PDlocal == DisponibleEnInventaire then
        PDlocal == CollecteParIngénieur.
        Emettre un événement pour notifier à tout le monde
        que la Pièce détachée a été récupérée
        PDlocal = besoinsPD.
    end
    else
        Prévisualiser une erreur après avoir remis le Contrat à
        son état précédent.
    end
end
else
    Prévisualiser une erreur après avoir remis le Contrat à
    son état précédent.
end
```

Chapitre III : Les conceptions et les analyses

Une fois la pièce de rechange disponible localement dans l'inventaire, l'ingénieur peut le collecter pour sa distribution ultérieure. Le l'ingénieur annonce la collecte de la pièce détachée et met à jour son état comme expliqué dans l'algorithme 12.

Validation et exécution des transactions

Dans cette section. Nous avons déployé notre Smart contract à la Blockchain de test Etherscan à travers l'IDE Remix, voici le cout du gas nécessaire pour la migration. Comme le montrenotreportefeuilleMetamasklecoutnécessairepourl'inscriptiond'un candidat est de0.000700052etheravec20Gweicommeprixd'uneunitédegascequi est la moyenne de prix de gas dans le MinNet, 5.00070052 ether = 1560.96\$ = 213.517.64DA.

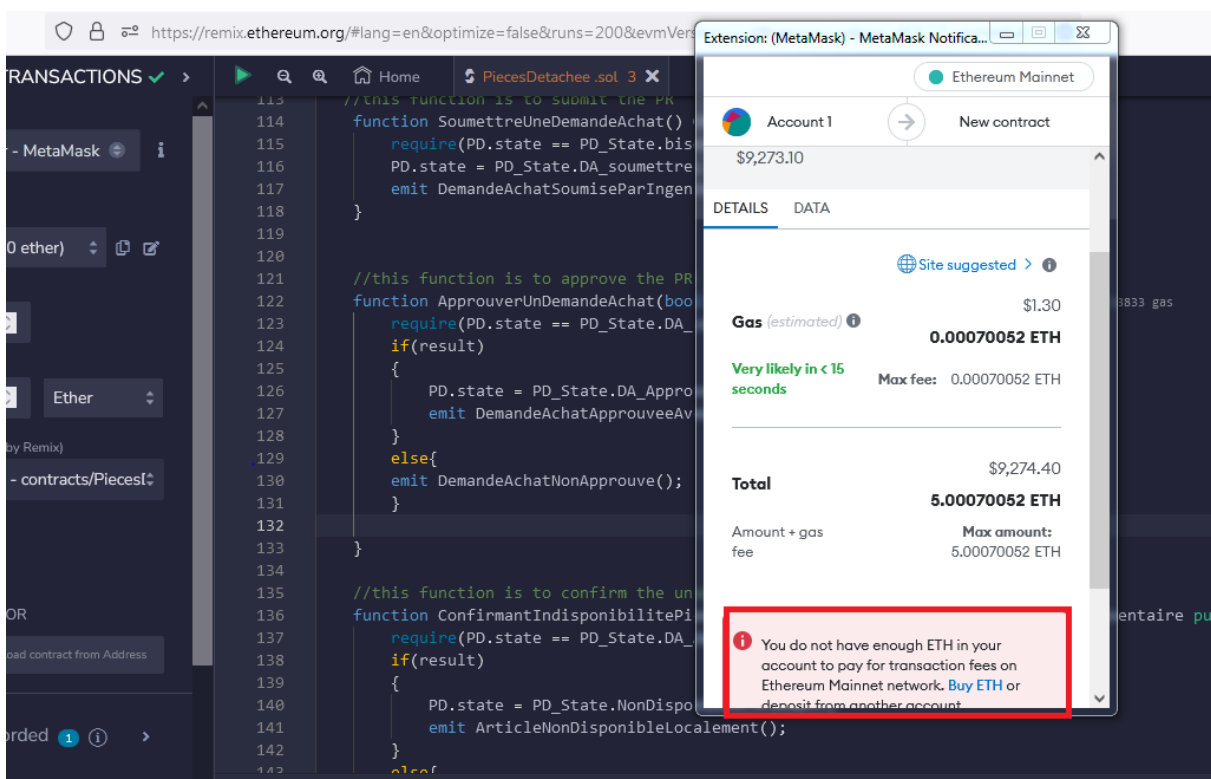


Figure III. 4: Remix.

A travers Etherscan (Moteur de recherche Blockchain) on peut accéder aux comptes du Smart contract, tout est public (le solde du compte, les transactions émises et reçu, les évènements, le byte code (code source compilé), on peut aussi le décompiler (VoirFigure3-4)

Chapitre III : Les conceptions et les analyses

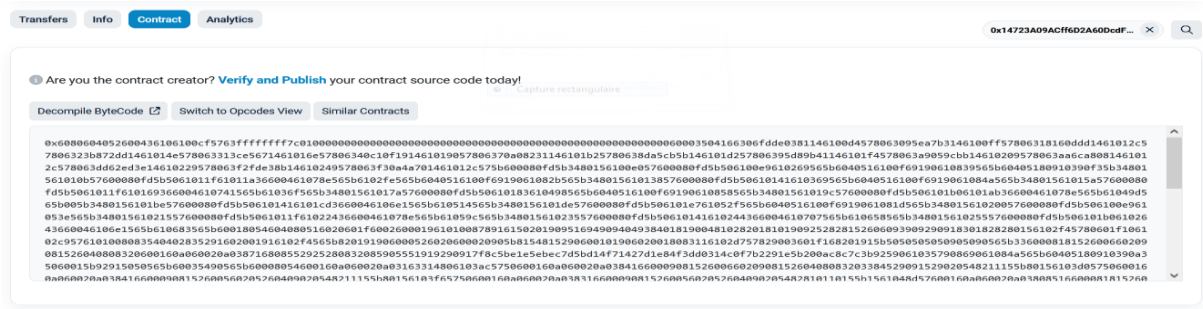


Figure III. 5: Byte code de notre Smart contract.

Dans le compte du Smart contract le public trouve tous les événements et les transactions (échoués et validés) en relation avec, tout est écrit de manière permanente et transparente depuis sa création.

| Transaction Hash | Method | Block | Age | From | To | Value | Txn Fee |
|-----------------------|----------|----------|----------------------|---------------------|---------------------|-------|---------|
| 0xa7e49b42206168d6... | Transfer | 10647754 | 1023 days 14 hrs ago | 0x14723A...FDCC160C | 0xFB7545...5bd16076 | 0 ETH | 0 |
| 0xcdf6b4bb53a95dc3... | Transfer | 10647754 | 1023 days 14 hrs ago | 0x14723A...FDCC160C | 0xC781c...E43eB080 | 0 ETH | 0 |
| 0x3acd5418706c050b... | Transfer | 10647754 | 1023 days 14 hrs ago | 0x14723A...FDCC160C | 0x3F668...0fA9260E | 0 ETH | 0 |
| 0xd9e774821dd031bd... | Transfer | 10647754 | 1023 days 14 hrs ago | 0x14723A...FDCC160C | 0xC280cf...2236177A | 0 ETH | 0 |
| 0xcd1bc87c2a9d2185... | Transfer | 10647754 | 1023 days 14 hrs ago | 0x14723A...FDCC160C | 0x986ae2...68c15661 | 0 ETH | 0 |
| 0x5d46a094452175dd... | Transfer | 10647754 | 1023 days 14 hrs ago | 0x14723A...FDCC160C | 0x80AF7F...F5d77Dc3 | 0 ETH | 0 |

Figure III. 6: Transactions (Etherscan).

Voici toutes les fonctions principales publiques de notre Smart contract représenté par Remix après le déploiement de notre Smart contract :

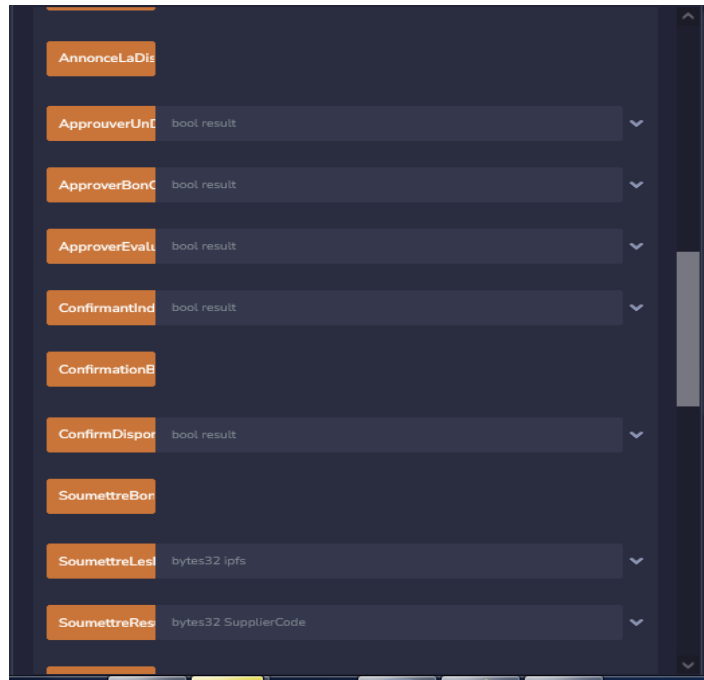


Figure III. 7: Les fonctions de notre Smart contract.

Chapitre III : Les conceptions et les analyses

Test et validation

Nous fournissons les détails de test et de validation du smart contract. Nous utilisons un smart contract. Ethereum pour tester les interactions entre les employés d'une organisation. Les participants, compris l'ingénieur, le gestionnaire l'inventaire, le gestionnaire de linge, le responsable des achats et le directeur des achats, ont respectivement les adresses Ethereum suivantes ;

"0xCA35b7d915458EF540aDe6068dFe2F44E8fa733c".

"0x14723A09ACff6D2A60DcdF7aA4Aff308FDDC160C".

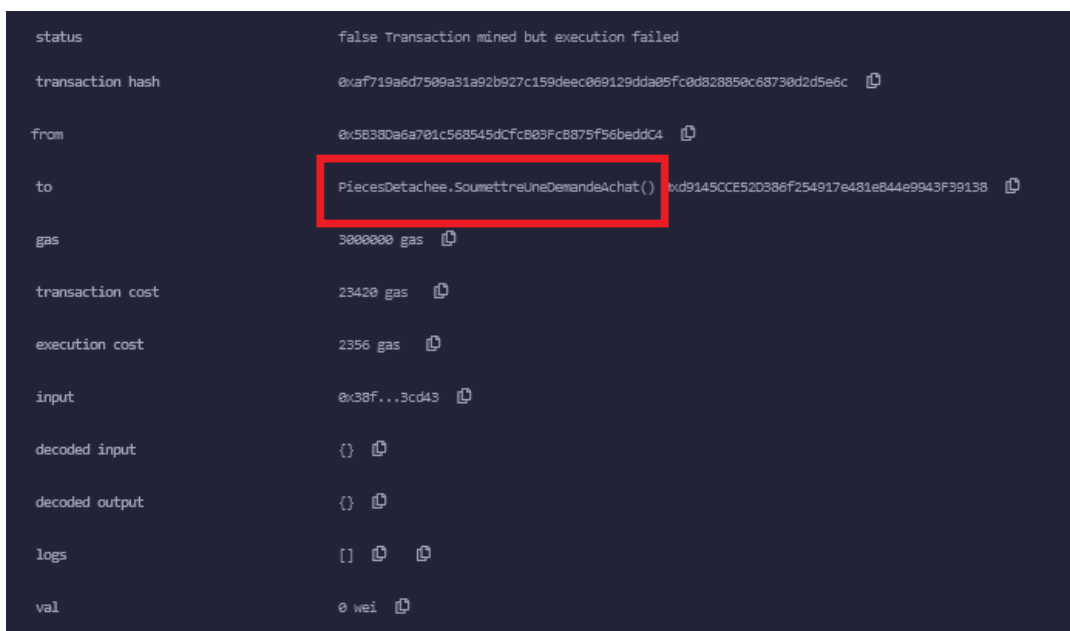
"0x4B0897b0513fdC7C541B6d9D7E929C4e5364D2dB".

"0x583031D1113aD414F02576BD6afaBfb302140225".

"0xD870fA1b7C4700F2BD7f44238821C26f7392148".

Les modificateurs sont testés pour s'assurer que chaque fonction ne peut être exécutée que par l'entité autorisée uniquement. De plus, l'état des composants des Pièces détachées garantit que la séquence correcte est suivie pendant l'exécution sans aucune répétition, sauf autorisation. Par exemple, une nouvelle demande d'achat ne peut être soumise par un ingénieur que si l'ancienne demande est déjà complétée et que les Pièces détachées n'est pas disponible localement. Dans les sous-sections suivantes, nous présentons les journaux produits lorsque les fonctions sont exécutées avec succès à l'aide de l'IDE Remix. Nous présentons en outre un scénario complet d'un ingénieur demandant une pièce de rechange en affichant les journaux des fonctions principales.

A. Soumettre une demande d'achat



```
status      false Transaction mined but execution failed
transaction hash  0xaf719a6d7509a31a92b927c159deec869129dda05fc0d8328850c68730d2d5e6c
from        0x583031D1113aD414F02576BD6afaBfb302140225
to          PiècesDetachee.SoumettreUneDemandeAchat() 0xd9145CCE52D386F254917e481e844e9943F39138
gas         3000000 gas
transaction cost 23420 gas
execution cost  2356 gas
input       0x38f...3cd43
decoded input {}
decoded output {}
logs        []
val         0 wei
```

Figure III. 8: Journaux montrant une demande d'achat réussie soumise par l'Ingénieur.

Chapitre III : Les conceptions et les analyses

L'ingénieur lance le processus en soumettant une demande d'achat à l'aide d'une fonction appelée Soumettre Une Demande Achat qui modifie l'état et émet un événement, comme indiqué dans les journaux de la figure.

B. Approuver de la demande d'achat

```
status           false Transaction mined but execution failed
transaction hash  0xb5ef26b5f646c4a1fd18fd385a81fce194788ae886faa8ebd247678d9ae2729e
from             0x5838Da6a781c568545dCfcB83FcB875f56beddC4
to               PiecesDetachee.ApprouverUNDemandeAchat(bool) 0xd9145CCE52D386f254917e481eB44e9943F39138
gas              3000000 gas
transaction cost  23781 gas
execution cost   2589 gas
input            0xa7b...00000
decoded input    {
                  "bool result": false
                }
decoded output    {}
logs             []
val              0 wei
```

Figure III. 9: Une approbation DA réussie par le gestionnaire de ligne.

Le gestionnaire de linge approuve le DA de l'ingénieur en utilisant un booléen comme entrée dans la fonction Approuver Demande Achat comme le montre la figure 6. Une fois la demande d'achat approuvée par Le gestionnaire de linge, Le gestionnaire d'inventaire exécute une transaction réussie pour s'assurer que les Pièces détachées n'est pas disponible localement dans l'inventaire. Cela met à jour l'état des Pièces détachées sur "Non disponible localement", ce qui permet au responsable des achats de fournir sur la chaîne le hachage IPFS des devis d'achat disponibles auprès des soumissionnaires et des fournisseurs.

Chapitre III : Les conceptions et les analyses

C. Confirmation de la disponibilité des pièces détachées chez le fournisseur demandé

```
Capture rectangulaire
status      false Transaction mined but execution failed
transaction hash  0xe5a230106629623039ba227327a4dfeaf65f1de996194f16be03a41bbd7150c2
from        0x5838Da6a701c568545dCfcB03FcB875F56beddC4
to          PiècesDetachee.ConfirmDisponibilitePieceDetachees(bool) 0xd9145CCE52D386f254917e481e844e9943F39138
gas         3000000 gas
transaction cost 23634 gas
execution cost  2442 gas
input        0xbf7...00000
decoded input {
  "bool result": false
}
decoded output {}
logs        []
```

Figure III. 10: Enregistrement montrant un événement émis annonçant que les Pièces détachées requises sont disponibles chez le fournisseur.

La dernière étape avant que l'ingénieur ne soumette un bon de commande est effectuée par le responsable des achats où les Pièces détachées est confirmée comme étant disponible immédiatement chez le fournisseur demandé et approuvé. Cela se fait en utilisant un booléen comme paramètre d'entrée dans la fonction `ConfirmDisponibilitePieceDetachees`, comme on peut le voir sur la figure 4.7.

E. Soumettre du bon de commande

```
status      false Transaction mined but execution failed
transaction hash  0xa6688e296cb0b24e79f2800569f0192359a38d86ac9ba38dc76412c2cda32588b
from        0x5838Da6a701c568545dCfcB03FcB875F56beddC4
to          PiècesDetachee.SoumettreBonCommande() 0xd9145CCE52D386f254917e481e844e9943F39138
gas         3000000 gas
transaction cost 23464 gas
execution cost  2400 gas
input        0x570...95855
decoded input {}
decoded output {}
logs        []
```

Figure III. 11: Enregistrements indiquant que la demande de bon de commande a été envoyée.

Chapitre III : Les conceptions et les analyses

L'ingénieur soumet la demande de bon de commande qui émet un événement annonçant la soumission de la demande et met à jour l'état à « SoumettreBonCommande », comme présenté dans la figure 9. Cette demande de bon de commande est approuvée avec succès par le gestionnaire de ligne avant que le directeur des achats ne confirme l'achat.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé un traçage basé sur la blockchain et le suivi de la propriété des pièces de rechange de l'OEM aux fournisseurs et utilisateurs finaux. Nous avons développé des contrats intelligents pour mettre en œuvre les fonctions, les modificateurs et les événements déclencheurs. Dans notre solution proposée, nous avons intégré le stockage décentralisé de services (IPFS) pour stocker les détails des pièces de rechange et des devis des fournisseurs. Nous avons fourni des discussions détaillées sur les aspects de mise en œuvre, de test et de validation.

Conclusion générale

En conclusion, l'approche de la blockchain pour la traçabilité des pièces de rechange dans la chaîne logistique offre des avantages significatifs. En utilisant cette technologie décentralisée et sécurisée, il est possible de créer un registre immuable des transactions, assurant ainsi l'intégrité des données et la transparence tout au long du processus de gestion des pièces de rechange.

La blockchain permet d'enregistrer chaque étape de la chaîne logistique, depuis la fabrication jusqu'à la livraison et l'installation des pièces de rechange, facilitant ainsi la vérification de l'authenticité et de l'historique de chaque composant. Grâce à la transparence et à la traçabilité offertes par la blockchain, il devient possible de détecter plus rapidement les problèmes potentiels tels que les pièces contrefaites ou défectueuses, permettant une réponse rapide et efficace.

De plus, l'utilisation de contrats intelligents basés sur la blockchain peut automatiser les processus de commande, de paiement et de logistique, réduisant ainsi les délais et les coûts associés à la gestion des pièces de rechange.

Cependant, l'adoption généralisée de cette approche nécessite une collaboration et une standardisation entre les acteurs de la chaîne logistique, ainsi qu'une sensibilisation aux avantages de la technologie blockchain.

En résumé, l'approche de la blockchain pour la traçabilité des pièces de rechange dans la chaîne logistique offre une solution prometteuse pour améliorer l'efficacité, la transparence et la sécurité, renforçant ainsi la confiance entre les parties prenantes et assurant un fonctionnement plus fluide de la chaîne d'approvisionnement.

Les Références

- [1] <https://coinjournal.net/fr/crypto-monnaies/apprendre/blockchain/>
- [2] <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/tech-fonction-hachage-1730/>
- [3] https://fr.wikipedia.org/wiki/Signature_num%C3%A9rique
- [4] <https://www.archipels.io/faq/quels-sont-les-differents-algorithmes-de-consensus>
- [5] <https://www.talend.com/fr/resources/blockchain/>
- [6] <https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fpublication%2F320181416%2Ffigure%2Ffig2%2FAS%3A795539872432128%401566682894241%2FLa-chaine-logistique-GALASSO-2007-Council-of-Supply-Chain-Mana>
- [7] <https://www.ar-racking.com/gestor/recursos/uploads/imagenes/blog/Supply-chain-ques/Phases-chaine-logistique-ou-supply-chain.jpg>
- [8] <https://docplayer.fr/60903524-Universite-de-bejaia-memoire-en-vue-de-l-obtention-du-diplome-de-master-en-sciences-commerciales-option-logistique-et-distribution.html>
- [9] <https://abcsupplychain.com/wp-content/uploads/2018/07/Flux-Physique-768x224.jpg>
- [10] <http://tics-supplychain.over-blog.com/pages/Structure-4885521.html>
- [11] "Remix," [Accessed on: November 19, 2019]. [Online]. Available: <https://remix.ethereum.org/>