

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA Béjaïa
Faculté des Sciences Exactes
Département Informatique



Mémoire de fin de cycle

*En vue de l'obtention du diplôme de master en
informatique*

Option : GL / IA

Thème :

**Systeme de suivi et traçage des marchandises basé sur la
blockchain**

Présenté par :

AIT OUMEZIANE Laetitia & BAKLI Sofiane

Devant le jury composé de :

<i>Encadrant</i>	Mme YAICI Malika	M.C.B	U.A/Mira Bejaïa
<i>Président</i>	Mme BOUADEM Nassima	M.C.B	U.A/Mira Bejaïa
<i>Examineur</i>	M BOUCHEBAH Fatah	M.C.B	U.A/Mira Bejaïa

Remerciement

*Nous remercions **DIEU** qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude.*

*Nos plus vifs remerciements vont à notre encadrante, **Mme YAICI Malika**, pour son encadrement, sa disponibilité, sa compréhension, son aide et ses précieux conseils, et son soutien constant tout au long de ce projet.*

*Nous souhaitons également remercier notre encadrant de stage, **M BOUMERZOUG Moussa**, pour son accueil, et pour nous avoir fourni les informations et données nécessaires à notre projet.*

*Nous tenons à exprimer notre gratitude aux membres du jury, **Mme BOUADEM Nassima** et **M BOUCHEBAH Fatah**, pour avoir accepté d'évaluer notre travail.*

Un profond merci à toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à toutes les personnes qui ont contribué à la réussite de mes études.

À mon très cher papa, pour son amour, ses sacrifices et son soutien constant, qui m'ont permis de poursuivre mes études dans les meilleures conditions.

À ma très chère maman pour son affection, sa patience et ses encouragements constants, qui m'ont donné la force de continuer.

À mes deux frères, pour leur soutien et leur présence tout au long de mes études.

À mes grands-mères, pour leur soutien inconditionnel, qui m'ont toujours inspiré à donner le meilleur de moi-même.

À mon cher Hakim, qui a toujours cru en moi et m'a poussé à donner le meilleur de moi-même.

À ma meilleure amie Sara pour ses encouragements et son soutien précieux qui ont illuminé non seulement mes études, mais aussi ma vie en général dans les moments difficiles.

À mes chères copines Melissa et Yasmine, Grâce à qui ces années d'études sont devenues agréables, avec leur bonne humeur et leur soutien constant. Votre présence et votre amitié ont grandement contribué à rendre ce parcours universitaire plus léger et joyeux

À mon binôme Sofiane, pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à toutes les personnes qui ont apporté leur soutien et leur encouragement tout au long de mon parcours.

À mes parents, Abdelhafid et Zahia qui m'ont transmis les valeurs du travail et de la persévérance, et qui ont toujours cru en moi.

À mes frères Hamza, Abdelhalim, Massinissa, Adam et ma sœur Kahina, qui ont toujours été là pour me faire rire et me remonter le moral.

À Mouna, pour son soutien indéfectible et sa présence réconfortante

À ma binôme Laetitia, pour son travail acharné et son esprit d'équipe.

Table des matières

Tables des matières	i
Tables des figures	v
Liste des tableaux	vi
Introduction générale	1
Chapitre 1 : Etude de l'existant.....	2
1 Introduction.....	2
2 Présentation de l'organisme d'accueil : BMT.....	2
3 Les systèmes utilisés au sein de la BMT	3
3.1 Container terminal management système (CTMS)	3
3.2 Position Determining System (PDS).....	3
3.3 Radio data system (RDS).....	3
3.4 Optical Character Recongition(OCR)	4
3.5 Echange de données informatisées (EDI)	4
4 Description des étapes de suivi des conteneurs.....	4
5 Données de suivi des conteneurs :	6
6 Problématique	9
7 Conclusion	9
Chapitre 2 : Introduction à la blockchain	12
1 Introduction.....	12
2 La blockchain	12
2.1 Définition	12
2.2 Fonctionnement.....	13
2.3 Principe.....	13
2.4 Types.....	15
2.4.1 Blockchain publique.....	15
2.4.2 Blockchain privée.....	15
2.4.3 Blockchain hybride.....	15
2.4.4 Blockchain de consortium	15
3 Les algorithmes de consensus	16
4 Domaines d'application de la blockchain	17
5 Blockchain bitcoin	19
5.1 Historique	19
5.2 Définition	19

5.3	Fonctionnement.....	19
6	Blockchain Ethereum	20
6.1	Historique	20
6.2	Définition	20
6.3	Fonctionnement.....	20
7	Difficulté liée à la mise en œuvre de la blockchain.....	21
7.1	La scalabilité.....	21
7.2	L'évolutivité.....	21
7.3	La sécurité.....	21
8	Conclusion	22
Chapitre 3 : Etat de l'art		24
1	Introduction.....	24
2	Etude des travaux existants.....	24
2.1	Méthodologie de conception et d'implémentation de la technologie blockchain dans le secteur industriel.....	24
2.2	Using NFTs and Blockchain for Traceability and Auctioning of Shipping Containers and Cargo in Maritime Industry.....	25
2.3	Medical supply chain integrated with blockchain and IoT to track the logistics of medical products	25
2.4	Modeling and analysis of port supply chain system based on Fabric blockchain	26
2.5	A peer-to-peer blockchain-based architecture for trusted and reliable agricultural product traceability	27
3	Etude comparative.....	28
3.1	Tableau Récapitulatif	28
3.2	Étude critique.....	29
4	Conclusion	30
Chapitre 4 : Applications existantes de suivi et traçage des marchandises		32
1	Introduction.....	32
2	AppleNet	32
2.1	Phases de la Chaîne d'Approvisionnement.....	32
2.2	Gestion des États des Actifs Apple	33
2.3	Utilisation de Contrats Intelligents.....	33
2.4	Fonctionnalités de l'application :	33
2.4.1	Interface utilisateur :.....	33
2.4.2	Interface administrative :.....	34
3	L'expédition des marchandises des transport routier via la blockchain.....	35
3.1	Introduction	35

3.2	Description de l'application	35
4	NAIBHSC	40
4.1	INTRODUCTION.....	40
4.2	Description de l'application NAIBHSC.....	40
4.2.1	Architecture de l'application	40
4.2.2	Fonctionnalités de l'application.....	40
Chapitre 5 : Conception et réalisation de notre application.....		44
1	Introduction.....	44
2	Méthodologie de conception	44
2.1	Le processus unifié	44
2.2	Définition de l'uml.....	45
3	Approche adoptée	46
4	Spécification des besoins	47
5	Identification des besoins.....	48
5.1	Besoins fonctionnels.....	48
5.2	Besoins non fonctionnels.....	48
5.3	Schéma d'Interaction des Acteurs avec la Blockchain.....	49
6	Scénario d'utilisation.....	50
7	Expression des besoins.....	51
7.1	Diagramme de cas d'utilisation.....	51
7.2	Diagramme de séquence	52
7.3	Diagramme de classe.....	56
8	Environnement et outils de développement.....	57
8.1	Outil de conception	57
8.2	Outil de développement.....	57
8.3	Outil de gestion des comptes.....	57
8.4	Environnement de codage.....	57
8.5	Bibliothèques JavaScript.....	58
9	Description des interfaces	59
9.1	Connexion	59
9.2	Profil de la compagnie maritime.....	60
9.3	Profil de l'agent de la BMT.....	61
9.4	Profile du commanditaire.....	62
9.5	Profile de l'administrateur / Mineur.....	63
10	Conclusion	64
Conclusion générale		65

Bibliographie 67

TABLES DES FIGURES

Figure 1- la jointure entre la BMT, spa et portek-	2
Figure 2-Schéma illustrant le fonctionnement de la Blockchain-	13
Figure 3- Capture d' écran de l'application web de l'organisme Brute communiquant avec le réseau AppleNet.-.....	33
Figure 4-Capture d'écran de l'application web pour les administrateurs. -	34
Figure 5- page d'accueil-	35
Figure 6-Authentification-	36
Figure 7-page d'accueil expéditeur-	36
Figure 8- interface d' Ajout des transporteurs-	36
Figure 9- interface pour l' Ajout des produits-.....	37
Figure 10- Fenêtre d'interface d'affectation d'un transporteur à un produit-.....	37
Figure 11-Accueil Transporteur/Client-.....	38
Figure 12-liste des produits-.....	38
Figure 13- liste des transporteurs-	39
Figure 14-- L'état du transport de produits-	39
Figure 15-Product owner registrations-	41
Figure 16-User registration-.....	41
Figure 17-Product tracking-	42
Figure 18-Product transfer between participants-	42
Figure 19-Description du processus unifié-	45
Figure 20- l'architecture de notre application web-	49
Figure 21-Diagramme de cas d'utilisation-.....	51
Figure 22-Diagramme de séquence du cas « s'authentifie ».....	53
Figure 23-Diagramme de séquence du cas « Ajout d'information et génération du bloc »	54
Figure 24-Diagramme de séquence du cas « validation des bloc générés-	55
Figure 25-Diagramme de classe-.....	56
Figure 26-Connexion à la blockchain-.....	59
Figure 27-Connexion à l'application web -	60
Figure 28-Interface pour la saisie des informations du premier bloc -	60
Figure 29- Interface pour la vérification du premier bloc-.....	61
Figure 30-Interface pour la saisie des informations du deuxième bloc-	61
Figure 31- Interface pour la vérification du deuxième bloc -.....	62
Figure 32- Interface pour la saisie du troisième bloc--	62
Figure 33-page d'accueil du mineur-.....	63
Figure 34- Interface pour la validation d'un bloc par le mineur-	63
Figure 35-Interface ganache ou les blocs sont émergée-	64

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1-exemple du suivi des conteneurs-.....	6
Tableau 2-Description des colonnes-.....	7
Tableau 3- Tableau récapitulatif des travaux passés en revues-	29

Introduction générale

Le suivi et le traçage des marchandises sont un problème clé dans la gestion moderne de la chaîne d'approvisionnement. La précision, la sécurité et l'efficacité des systèmes de suivi sont déterminantes pour la performance et la compétitivité des entreprises. Cependant, les méthodes traditionnelles de gestion et suivi des données présentent souvent des inconvénients, comme la possibilité de modifications non autorisées, ce qui peut entraîner des pertes financières et une perte de confiance des parties prenantes.

C'est ce que nous avons constaté lors de notre stage que nous avons effectué au sein de la BMT (Bejaia Mediterranean Terminal)

Dans ce contexte, les innovations technologiques offrent des solutions prometteuses pour améliorer la sécurité et la transparence des systèmes de suivi des marchandises. La blockchain se présente comme une solution viable et performante. Grâce à sa capacité à enregistrer des transactions de manière immuable et transparente, la blockchain assure une traçabilité fiable et sécurisée des marchandises.

Notre projet vise à concevoir et réaliser une application web dédiée au suivi et traçage des marchandises en utilisant la technologie blockchain.

Notre mémoire se structure en cinq chapitres :

Dans le premier chapitre intitulé « l'étude de l'existant » Nous y décrivons notre stage à la BMT, les systèmes en place et les risques associés à la manipulation des données. Cette analyse met en lumière la nécessité de la blockchain pour le suivi des marchandises.

Une fois que nous avons pris conscience de la nécessité d'intégrer la blockchain, nous avons dédié le deuxième chapitre « Introduction à la blockchain » à une présentation détaillée de cette technologie

Le troisième chapitre « l'état de l'art » nous avons résumé et analysé cinq articles scientifiques en lien avec notre sujet

Le quatrième Chapitre : « Applications existantes de suivi et traçage des marchandises » est consacré aux application web que nous avons sélectionné qui utilisent la blockchain pour le suivi et le traçage de produits

La dernière partie de notre mémoire, le chapitre cinq détaille le processus de conception et de développement de notre application web. Nous y exposons les choix technologiques, les étapes de réalisation

Nous terminons par une conclusion générale.

Chapitre 1

Etude de l'existant

Chapitre 1 : Etude de l'existant

1 Introduction

Dans le cadre de notre projet de fin d'étude, nous avons effectué un stage au sein de la BMT (Bejaia Mediterranean Terminal).

Ce stage avait pour objectif principal Comprendre les étapes de suivi des conteneurs, analyser le système utilisé par la BMT pour la gestion des conteneurs et proposer des améliorations et développer une application de suivi et traçage des marchandises.

2 Présentation de l'organisme d'accueil : BMT

BMT – SPA est une jointe venture entre l'Entreprise Portuaire de Bejaia et Portek Systems & Equipment. EPB est l'autorité portuaire qui gère le port de Béjaia. PORTEK Systems and Equipment, une filiale du Groupe PORTEK qui est un opérateur de Terminaux à conteneurs présent dans plusieurs ports dans le monde et également spécialisé dans les équipements portuaires. [1]

L'activité principale de BMT est la gestion et l'exploitation du Terminal à conteneurs. Sa mission principale est de traiter dans les meilleures conditions de délais, de coûts et de sécurité, l'ensemble des opérations qui ont un rapport avec le conteneur. [1]



Figure 1- la jointure entre la BMT, spa et portek- [1]

3 Les systèmes utilisés au sein de la BMT

Pour une meilleure organisation de la gestion du terminal la BMT s'est dotée de système informatique de gestion du terminal pour assurer une meilleure traçabilité et suivi du conteneur. Les systèmes mis en place incluent le CTMS (Container Terminal Management System), PDS (Position Determining System), Radio data system (RDS), l'OCR (optical Character Recognition) et un environnement opérant en EDI

3.1 Container terminal management système (CTMS)

Le CTMS est un système de gestion des terminaux à conteneurs qui automatise les opérations dans les terminaux à conteneurs modernes. Il s'agit d'un logiciel complexe qui gère les équipements et le personnel de manutention des conteneurs, planifie efficacement les tâches et supervise les opérations en temps réel. Les principaux sous-systèmes comprennent la gestion du parc, la gestion du chargement/déchargement, l'identification électronique et l'équipement RF. Les capacités du CTMS comprennent l'optimisation des flux de travail, le suivi des mouvements de conteneurs, la minimisation des opérations manuelles et la réduction des temps d'attente des navires. [2]

3.2 Position Determining System (PDS)

Le système de détection de positionnement permet une détection précise et fiable de la position des conteneurs et des équipements de manutention des conteneurs (CHE) en employant le GPS (Gestion de Position par Satellite). [3]

Le PDS permet à la BMT la localisation et livraison de leurs conteneurs en un temps record.

3.3 Radio data system (RDS)

Afin d'améliorer sa compétitivité, il est essentiel que BMT optimise la gestion de ses parcs à conteneurs. A cet effet, il est essentiel de mettre en place des stratégies essentielles visant à superviser en temps réel les équipements de manutention des conteneurs et à garantir des mouvements de chargement et de déchargement plus rapides. Bien sûr, cela nécessite des informations appropriées sur les zones de transbordement et de stockage.

Pour cela, il est essentiel d'avoir un système qui regroupe tous les éléments de transmission de données par radio fréquence RDS dédiés à la gestion des conteneurs en ligne et en temps réel, afin de garantir une gestion efficace des grandes quantités d'informations liées aux flux de

conteneurs au terminal.

Le RDS repose sur la transmission de données sans fil via les signaux hertziens numériques, à une fréquence spécifique. La transmission sans fil (Wireless) permet de maintenir une communication radio bilatérale entre un terminal mobile situé sur un poste de travail (par exemple dans les parcs à conteneurs ou sur le quai) et le serveur principal sur lequel CTMS fonctionne.

3.4 Optical Character Recognition(OCR)

L'OCR a été développé dans le but d'identifier en temps réel tous les conteneurs entrant ou sortant dans le terminal. Lorsque le conteneur (qui est transporté par camion) entre dans le terminal ou en sort, le système OCR saisit et archive les numéros des conteneurs, ainsi que l'heure d'arrivée ou de sortie du conteneur.

Le système OCR, équipé de caméras à balayage linéaire ultra rapides et à haute résolution, enregistre l'image vidéo de chaque numéro d'identification inscrit sur les conteneurs et envoie ces numéros au CTMS. La conception du système vise à détecter les codes conformes à la norme ISO sur les conteneurs transportés par les camions.

3.5 Echange de données informatisées (EDI)

C'est un processus qui permet aux entreprises d'envoyer et de recevoir des documents commerciaux électroniques, directement entre leurs systèmes informatiques, en utilisant un format standardisé. [4]

4 Description des étapes de suivi des conteneurs

Étape 1 : Chargement des conteneurs au port d'origine

La première étape consiste à charger le conteneur au port d'origine. Les informations concernant le conteneur, telles que le numéro de conteneur, le type, et les détails sur le contenu, sont enregistrées dans le CTMS.

Étape 2 : Transbordement au port intermédiaire

Dans le cas de la BMT, il y a toujours une étape de transbordement. Le conteneur fait une escale dans un port intermédiaire où il est temporairement stocké avant d'être acheminé vers le port de destination.

Étape 3 : Arrivée au port de destination

Une fois le conteneur arrivé au port de destination, les informations sont mises à jour dans le CTMS. Le conteneur est préparé pour le déchargement.

Étape 4 : Déchargement au port de destination

Le conteneur est ensuite déchargé au port de destination. Cette étape marque la fin du voyage maritime et le début du processus de livraison terrestre.

Étape 5 : Livraison du conteneur au commanditaire

Le conteneur est transporté depuis le port de destination jusqu'à l'entrepôt ou le site de l'importateur. Cette étape implique souvent l'utilisation de camions.

Étape 6 : Stockage et déchargement de la marchandise chez l'importateur

Une fois arrivé chez l'importateur, le conteneur est stocké et la marchandise est déchargée. Cette étape inclue des vérifications de la marchandise.

Étape 7 : Restitution du conteneur vide vers les zones de stockage

Après le déchargement de la marchandise, le conteneur vide est restitué à des zones de stockage spécifiques dédiées aux conteneurs vides (parc à conteneur) .

Étape 8 : Transfert des conteneurs vides vers le port (période courte)

Les conteneurs vides sont ensuite transférés de la zone de stockage vers le port de bejaia . Ce transfert se fait généralement sur une période courte pour optimiser l'espace et les ressources.

Étape 9 : Chargement du conteneur vide sur le navire et retour au port d'origine

Enfin, les conteneurs vides sont chargés sur un navire pour être retournés au port d'origine. Cette étape clôture le cycle de vie logistique du conteneur et prépare celui-ci pour une nouvelle utilisation.

5 Données de suivi des conteneurs :

Un tableau de suivi des conteneurs nous a été fourni, il joue un rôle essentiel dans la gestion et la traçabilité des marchandises. Il y a différentes informations sur chaque conteneur dans ce tableau, depuis son chargement au port d'origine jusqu'à son arrivée au port de destination.

cntr_nbr	len_ft	gross_wt	oper_cd	pload	pdisc	pdest	Seal nbr	iso_ size	cat cd	atb	atd
ICOU204 2338	20	27 200	ARK	TRIST	DZBJA	DZBJA		22G 0	GP	12/31/2023 16:20:00	01/04/2024 04:00:00
ARKU24 08203	20	27 200	ARK	TRIST	DZBJA	DZBJA		22G 0	GP	12/31/2023 16:20:00	01/04/2024 04:00:00
ARKU23 88869	20	15 930	ARK	TRIST	TRIZM	TRIZM		22 GO	GP	12/31/2023 16:20:00	01/04/2024 04:00:00
ARKU22 23149	20	13 960	ARK	TRIST	TRIZM	TRIZM		22 GO	GP	12/31/2023 16:20:00	01/04/2024 04:00:00
ARKU83 15052	40	9 200	ARK	TRIZM	DZBJA	DZBJA		45G 0	HC	12/31/2023 16:20:00	01/04/2024 04:00:00
ARKU83 52122	40	6 700	ARK	TRIZM	DZBJA	DZBJA		45G 0	HC	12/31/2023 16:20:00	01/04/2024 04:00:00
ARKU43 27435	40	7 500	ARK	TRIST	TRIZM	TRIZM		5G0	DG	12/31/2023 16:20:00	01/04/2024 04:00:00

Tableau 1-exemple du suivi des conteneurs-

Nous remarquons que dans l'exemple fourni, la majorité des conteneurs sont chargés à TRIST. Cependant, nous devons noter que cet exemple ne représente qu'un échantillon spécifique des données disponibles.

Description des colonnes :

Colonnes	Description
"cntr_nbr"	Numéro du conteneurs
"len_ft"	Type du conteneur
"gross_wt"	Poids du conteneur
"oper_cd"	Nom de la compagnie maritime
"pload"	Port d'origine
"pdisc"	Port de transbordement
"pdest"	Port de destination
"seal_nbr"	Numéro de sceau
"iso_size_type_cd"	Code iso du conteneur
"cat_cd"	Catégorie du conteneur
"atb"	Date et heure d'arrivée au terminal
"atd"	Date et heure de départ du terminal

Tableau 2-Description des colonnes-

Les informations fournies dans le tableau nous permettent de tirer plusieurs conclusions sur les caractéristiques et les opérations des conteneurs suivis.

- **Diversité des conteneurs**

Différentes catégories de conteneurs identifiés par la colonne (`cat_cd`), principalement :

- GP (General Purpose) : Conteneurs standard utilisés pour une variété de cargaisons.
- HC (High Cube) : Conteneurs de hauteur accrue, souvent utilisés pour des charges volumineuses.
- DG (Dangerous Goods): Conteneurs spécialement conçus et certifiés pour transporter des marchandises dangereuses, assurant la sécurité pendant le transport.
- OT (open-top) : Ce genre de conteneur convient à tout type de marchandise sèche
- HR (High Cube Refrigerated): Conteneurs réfrigérés de grande hauteur, similaires aux HC mais équipés pour le transport réfrigéré.
- RF : les conteneurs réfrigérés sont utilisés pour des produits qui doivent être transportés à une température constante au-dessus ou en dessous de 0°.

- **Poids des conteneurs**

Les poids bruts (`gross_wt`) varient considérablement, allant de 5 300 kg à 27 200 kg. Cette variation indique la diversité des charges transportées :

- Les conteneurs de 20 pieds ont des poids bruts plus bas.
- Les conteneurs de 40 pieds, notamment les conteneurs HC, ont tendance à supporter des charges plus importantes.

- **Longueur des conteneurs**

La colonne `len_ft` indique deux longueurs standard pour les conteneurs :

- 20 pieds : utilisé pour des cargaisons plus petites ou plus épaisses.
- 40 pieds : utilisé pour des cargaisons de grande taille.

- **Ports de chargement, déchargement et destination**

Les colonnes `pload`, `pdisc` et `pdest` fournissent des informations sur les différents ports impliqués dans la chaîne logistique :

- Port d'origine (`pload`) : exemple : TRIST (Port de Istanbul)
- Port de transbordement (`pdisc`) : exemple : DZBJA (Port de Béjaïa)

- Port d'arrivé (`pdest`) : Les ports d'arrivé incluent DZBJA et TRIZM (Port de Izmir).

La majorité des conteneurs sont chargés à TRIST et déchargés à DZBJA, ce qui indique un flux logistique régulier entre ces deux ports.

- **Temps de transit**

Les colonnes `atb` et `atd` montre les temps de transit :

- (`atd`) : Indique la date et l'heure de départ des conteneurs du port de chargement.
- (`atb`) : Indique la date et l'heure d'arrivée des conteneurs au port de déchargement.

En comparant `atb` et `atd`, on peut déduire la durée de séjour des conteneurs dans le port de chargement.

- **Numéro de sceau**

La colonne seal_nbr, qui contient les numéros de sceau des conteneurs assurant l'intégrité des cargaisons pendant le transport, n'a pas été fournie durant notre stage en raison de considérations de confidentialité.

6 Problématique

Au cours de notre stage à la BMT, nous avons constaté que les données sont exposées à des risques de modification indésirables. La nature modifiable des données dans leur système représente une vulnérabilité majeure, pouvant potentiellement compromettre l'intégrité et la fiabilité des informations de suivi des marchandises. En particulier, les fichiers EDI (Échange de Données Informatisé) utilisés pour insérer des informations dans le système CTMS (Cargo Tracking Management System) peuvent être modifiés de manière non autorisée. Ces fichiers sont susceptibles aux modifications durant leur transmission ou stockage, que ce soit par accès non autorisé, erreurs humaines ou failles logicielles, mettant en péril la précision et la sécurité des données intégrées dans le CTMS.

7 Conclusion

Les risques de modification des données dans leur système soulèvent des préoccupations importantes quant à l'intégrité et à la fiabilité des informations de suivi des marchandises. Face à cette vulnérabilité, nous avons proposé l'adoption de la technologie de la blockchain plus précisément ethereum comme solution innovante pour assurer l'immutabilité des données.

En intégrant la blockchain dans le processus de suivi et de traçage des conteneurs, nous pourrions garantir la sécurité et la transparence des informations tout au long de la chaîne logistique. La nature décentralisée sécurisée de la blockchain offrirait une assurance contre les manipulations malveillantes des données, assurant ainsi l'intégrité des enregistrements de suivi des marchandises

Chapitre 2 :
Introduction à la blockchain

Chapitre 2 : Introduction à la blockchain

1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons explorer les fondements de la blockchain, une technologie innovante qui offre de nouvelles perspectives dans la sécurisation et la vérification des transactions à l'échelle mondiale. Nous commencerons par définir ce qu'est la blockchain et examinerons comment elle fonctionne. Ensuite, nous discuterons des différents types de blockchains, de leurs applications potentielles et des défis associés à leur mise en œuvre. Enfin, nous étudierons deux exemples clés : Bitcoin et Ethereum,.

2 La blockchain

Une blockchain est essentiellement une immense base de données dont l'accès est complètement transparent. Il s'agit d'un grand livre numérique où chaque transaction est enregistrée et distribuée sur tout un réseau. [5]

2.1 Définition

Pour définir la blockchain, il est probablement nécessaire d'établir une définition simple, dans ce contexte, il convient d'articuler deux définitions, l'une basique et l'autre détaillée, afin de favoriser une compréhension approfondie [6]

Voici les deux définitions :

- **Basique** : La blockchain est une technologie de stockage et de transmission d'informations, sécurisée et transparente, fonctionnant sans organe central de contrôle. [6]
- **Détaillée** : La blockchain est une base de données distribuée, c'est-à-dire qu'elle est partagée par un réseau d'ordinateurs. Les données de la blockchain sont stockées dans des blocs, qui sont liés les uns aux autres par une chaîne de hachage. Chaque bloc contient une liste d'informations, telles que des transactions, des contrats intelligents ou des métadonnées. La blockchain est sécurisée par la cryptographie. Les données de la blockchain sont cryptées, ce qui les rend illisibles par des personnes non autorisées. De plus, la blockchain est distribuée, ce qui signifie qu'il est très difficile de la modifier ou de la supprimer. La blockchain est transparente, tel que tous les utilisateurs du réseau peuvent accéder aux données de la blockchain.

Cela permet de garantir l'intégrité des données et de prévenir la fraude. [6]

Pour résumer, la Blockchain est une technologie, qui permet de stocker des données numériques pour un coût minime, de manière décentralisée et sécurisée. Il s'agit d'une Sorte de livre de compte ou d'un registre qui contient la liste de tous les échanges effectués entre utilisateurs. [7]

2.2 Fonctionnement

Pour fonctionner, la blockchain nécessite l'utilisation d'une monnaie ou d'un jeton (aussi appelé token).

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. [8]

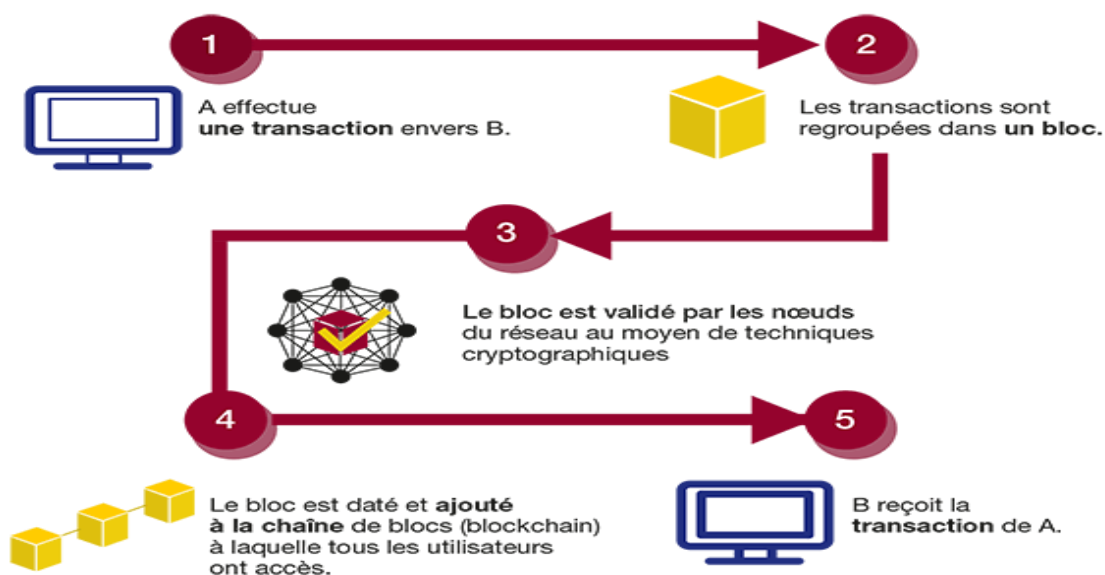


Figure 2-Schéma illustrant le fonctionnement de la Blockchain- [8]

2.3 Principe

D'un point de vue macro-fonctionnel, une blockchain semble similaire aux systèmes Transactionnels existants. L'accord d'une transaction commerciale entre deux parties aboutit à un échange sécurisé et validé. Cependant, la façon dont la blockchain permet les transactions de pair à pair est profondément différente de ce que propose le système actuel qui est basé sur

la validation par un tiers de confiance, comme par exemple les institutions bancaires, les notaires, les fournisseurs d'énergie, etc. [9]

Les 3 grands principes inhérents à cette technologie blockchain sont les suivants :

- **Le consensus distribué** : la transaction est réputée réalisée lorsqu'elle est intégrée à un « bloc ». Elle n'y est intégrée que si l'ensemble des informations relatives à la Transaction ont été vérifiées et déclarées conformes par des acteurs du réseau que l'on appelle « mineurs ». Situés à des nœuds du réseau, les mineurs utilisent une portante puissance de calcul. Leur rôle est de décrypter les données d'un ensemble de transactions pour les regrouper en un bloc de transactions grâce à la fonction « hash ». Le « hash » est un procédé cryptographique qui permet de réduire l'ensemble des données contenues dans le bloc à une suite limitée de chiffres et de lettres. La transaction est intégrée au bloc, qui en regroupe plusieurs, lui-même soumis à chaque mineur pour validation. La transaction est déclarée validée lorsque tous les mineurs ont validé le bloc. [9]
- **Les enregistrements synchronisés et décentralisés** : la blockchain peut être représentée par un grand livre de compte dans lequel sont listées toutes les transactions des membres d'un réseau, chaque page représentant un bloc. Ce grand livre est hébergé par les membres du réseau sur leur espace de stockage local. Les informations constituant les transactions sont sécurisées par des procédés cryptographiques pour prévenir des modifications a posteriori. Une modification de l'historique de transactions entraînerait une désynchronisation du bloc par rapport aux autres, dévoilant ainsi sa falsification. L'architecture décentralisée ainsi que le procédé cryptographique assure l'intangibilité des informations enregistrées au sein de la blockchain. [9]
- **Le contrat intelligent** : (smart contract) les contrats intelligents désignent des transactions complexes qui répondent à des règles précises. Si les conditions sont réunies, un contrat intelligent automatise la réalisation d'une transaction. Les conditions d'activation du contrat sont figées dans la blockchain. Un contrat intelligent est donc une transaction qui peut s'exécuter automatiquement de manière autonome. [9]

2.4 Types

Il existe quatre grands types de réseaux blockchain : les blockchains publiques, les blockchains privées, les blockchains de consortium et les blockchains hybrides qui sont :

2.4.1 Blockchain publique

La blockchain publique est une base de données distribuée et transparente qui est accessible à tous. Les données sont stockées sur un réseau de pair à pair et vérifiées par un algorithme de consensus, généralement la preuve de travail (PoW ²) [10]

La blockchain publique est utilisée par les cryptomonnaies, mais elle peut également être utilisée pour d'autres applications, telles que la gestion de la chaîne d'approvisionnement ou le vote électronique. [10]

2.4.2 Blockchain privée

La blockchain privée est une blockchain contrôlée par une seule entité. Elle offre des avantages en termes de sécurité, d'efficacité et de flexibilité, mais elle est moins transparente et décentralisée que la blockchain publique. Les données de la blockchain privée sont stockées sur un réseau de pair à pair, mais seulement les nœuds autorisés par l'entité de contrôle peuvent y accéder. Les transactions sont validées par un algorithme de consensus, généralement la preuve d'enjeu (PoS). [10]

2.4.3 Blockchain hybride

La blockchain hybride est un type de blockchain qui combine les éléments de la blockchain privée et de la blockchain publique. Elle est contrôlée par une seule entité, mais les données peuvent être rendues publiques si nécessaire. Les données de la blockchain hybride sont stockées sur un réseau de pair à pair, mais seulement les nœuds autorisés par l'entité de contrôle peuvent y accéder. Les transactions sont validées par un algorithme de consensus, généralement la preuve d'enjeu (PoS). [10]

2.4.4 Blockchain de consortium

La blockchain de consortium est un type de blockchain qui est contrôlée par un groupe d'entités, plutôt qu'une seule entité. [10]

Elle combine les avantages de la blockchain privée, telle que la sécurité et la confidentialité, avec les avantages de la blockchain publique, telle que l'évolutivité et la transparence. Les données de la blockchain de consortium sont stockées sur un réseau de pair à pair, mais seulement les nœuds autorisés par le groupe de contrôle peuvent y accéder. Les transactions sont validées par un algorithme de consensus, généralement la preuve d'enjeu (PoS). [10]

3 Les algorithmes de consensus

Un algorithme de consensus est un mécanisme permettant aux utilisateurs ou aux machines de se coordonner dans un environnement distribué. Il s'assure que tous les agents du système se mettent d'accord sur une source unique de vérité, même en cas d'échec de certains agents. Autrement dit, le système doit être tolérant aux pannes [11]

Il existe plusieurs types d'algorithmes de consensus. Les implémentations les plus courantes sont PoW ,PoS et PoA.

1. Preuve de travail (PoW) :

PoW était le premier algorithme de consensus à avoir été créé. Il est utilisé pour la première fois par Bitcoin. L'algorithme de preuve de travail est une partie essentielle du processus de minage. Les validateurs (miners) doivent résoudre des problèmes complexes en hachant des données jusqu'à obtenir un résultat spécifique. Un hachage est une chaîne de caractères générée par une fonction de hachage, qui change complètement même si une petite modification est apportée aux données d'entrée. [11]

Pour créer un bloc valide, les miners modifient les données par force brute jusqu'à ce que le hachage obtenu corresponde aux conditions définies par le protocole (par exemple, commencer par "00"). Cela nécessite beaucoup de puissance de calcul, fournie par des machines spécialisées appelées ASIC. [11]

2. Preuve d'enjeu (PoS) :

Le Proof of Stake (PoS) est un algorithme de consensus pour les blockchains où les validateurs sont choisis pour créer de nouveaux blocs et valider les transactions en fonction de la quantité de cryptomonnaie qu'ils mettent en jeu (stakent). Contrairement au Proof of Work (PoW), le PoS ne nécessite pas de matériel spécialisé ni de grande consommation d'énergie. Les validateurs verrouillent leurs fonds dans un portefeuille et, s'ils agissent honnêtement, reçoivent des récompenses proportionnelles à leur stake. En cas de comportement malhonnête, ils risquent de perdre leurs fonds stakés. [11]

3. Preuve d'autorité (PoA) :

La preuve d'autorité est un algorithme de consensus qui offre une solution efficace pour les blockchains, notamment privées. Le terme a été inventé en 2017 par Gavin Wood, co-fondateur de la blockchain Ethereum . [12]

En guise de preuve d'autorité, les machines obtiennent le droit de générer de nouveaux blocs en passant par un processus de vérification strict, qui est discuté en détail dans la section suivante. En conséquence, des machines de validation fiables protègent les blockchains PoA. Ces modérateurs du système sont des participants pré-approuvés qui vérifient les blocs et les transactions. [12]

Le modèle de preuve d'autorité est évolutif car il repose sur un petit nombre de validateurs de blocs. [12]

4 Domaines d'application de la blockchain

- **Logistique et suivi de la chaîne d'approvisionnement**

La logistique pourrait bénéficier grandement de l'aide de la blockchain En effet, l'un des plus grands maux de ce secteur est le manque de communication et de transparence, que ce soit au sein d'une entreprise ou entre les différents prestataires. Il existe des centaines de milliers de sociétés d'expédition dans le monde, ce qui donne naissance à des goulots d'étranglement et des pertes d'informations récurrentes. La blockchain pourrait permettre une identification précise des articles dans la chaîne d'approvisionnement, supprimant tout besoin de transfert d'informations sur papier. Associée à l'IoT, elle pourrait suivre chaque article tout en évaluant son état et sa qualité en temps réel. Non seulement cela serait plus sûr, plus fluide et plus automatisée, mais cela permettrait par extension au secteur d'économiser des milliards de dollars. [5]

- **Transferts d'argent et paiements**

Avec le bitcoin en tête de file, la blockchain a rapidement été utilisée comme méthode de transfert de devises. Grâce à cette technologie qui permet d'effectuer des transactions en quelques secondes, l'argent peut être échangé à une vitesse alarmante avec des coûts minimes. D'après ComputerWorld, en éliminant les intermédiaires bureaucratiques et en réduisant les frais de tiers, la blockchain pourrait faire économiser entre 8 et 12 milliards de dollars par an aux grandes institutions financières. [5]

- **Smart contracts**

Les « smart contracts » ou contrats intelligents sont peut-être l'une des caractéristiques les plus transformatrices de la blockchain. Ils sont comme des contrats papier, sauf que les règles sont intégrées dans des codes informatiques, et appliquées en temps réel sur la blockchain. [5]

- **L'internet des objets**

L'Internet des objets (ou Internet of Things, IoT) a des millions d'applications, les appareils devenant de plus en plus intelligents et connectés. Cependant, c'est aussi une opportunité pour les pirates de voler vos données. L'ajout de la technologie blockchain à la formule permet de s'assurer que les données sont conservées en sécurité et ne sont accessibles qu'à l'utilisateur ou à des tiers autorisés. [5]

- **Une identité digitale**

Au lieu de créer et de gérer manuellement des comptes gérés par les prestataires de Service (identité centralisée) ou de faire confiance à des fournisseurs d'identité (identité fédérée), l'identité décentralisée place l'individu - le titulaire de ses attributs d'identité - au centre de chacune de ses interactions numériques avec un émetteur - l'auteur des documents justifiant les attributs d'identité d'une personne et un vérificateur - l'entité qui souhaite vérifier l'identité de l'utilisateur pour l'accès à ses services / produits. [13]

5 Blockchain bitcoin

5.1 Historique

A l'origine, la blockchain Bitcoin est une amélioration du concept b-money (imaginé par Wei Dai en 1999, où les serveurs étaient supposés verser un dépôt de garantie dans un mécanisme peu explicite) et bitgold (décrit en 2005 par Nick Szabo qui avançait l'idée d'utiliser une chaîne de preuves de calcul) [14]

5.2 Définition

Le Bitcoin est une monnaie électronique qui est devenue de plus en plus populaire depuis son introduction en 2008. Les transactions dans le système Bitcoin sont stockées dans un registre public des transactions « la blockchain », qui est stocké dans un réseau peer-to-peer décentralisé. Bitcoin permet l'émission de devises décentralisée et l'autorisation des transactions. [15]

5.3 Fonctionnement

La blockchain Bitcoin repose sur un protocole cryptographique notamment pour :

- D'une part, résoudre le problème dit « de la double dépense », qui avait jusqu'alors empêché l'émergence d'un tel type de monnaie (A donne à B en s'assurant qu'il n'a pas donné à C en parallèle) [14]
- D'autre part, garantir l'impossibilité de falsifier les identifiants des parties prenantes et la valeur du stock de bitcoin figurant dans les porte-monnaie électroniques. [14]

Son fonctionnement suit 4 étapes : [14]

- Deux personnes s'accordent sur une transaction
- Grâce à la blockchain la transaction est encryptée et validée par consensus (proof of work /minage).
- Elle est ensuite inscrite puis verrouillée dans le dernier bloc de la blockchain
- Enfin la blockchain est répliquée dans tous, les nœuds du réseau

6 Blockchain Ethereum

6.1 Historique

Vitalik butrein est le créateur d'Ethereum. Il a d'abord découvert les technologies blockchain et les crypto-monnaies à travers Bitcoin en 2001, et a été immédiatement emballé par la technologie et son potentiel. Il a cofondé Bitcoin Magazine en septembre 2011 et, après deux ans et demi de réflexion sur les technologies et les applications existantes, il publie son idée sous la forme d'un livre blanc en novembre 2013 [14]

6.2 Définition

Ethereum est une plateforme logicielle de blockchain, distribuée en open source. À l'origine c'est une blockchain publique, qui motorise la crypto-monnaie Ether. Mais à la différence de la blockchain Bitcoin, elle peut aussi être déployée dans un cadre de blockchain de consortium. [16]

6.3 Fonctionnement

On peut considérer Ethereum comme un ordinateur mondial (constitue de milliers d'ordinateurs) à travers le monde, auquel tout le monde peut accéder. Sa puissance de calcul provient des mineurs, qui sont rétribués en « gaz ». [14]

Les mineurs exécutent collectivement les opérations nécessaires (Vérification, ajout de données, exécution de smart contracts) au fonctionnement de la blockchain Ethereum en échange de cette rétribution. Le gaz peut être échangé contre des ethers, qui eux-mêmes peuvent être échangés contre des monnaies fiat (monnaies gouvernementales comme l'euro ou le dollar) sur les plateformes de marchés. [14]

On peut donc stocker ce que l'on souhaite sur la blockchain Ethereum, même du code. Cette blockchain est à disposition des particuliers comme des professionnels, qui peuvent s'en servir librement. [14]

7 Difficulté liée à la mise en œuvre de la blockchain

Les blockchains sont suffisamment souples et puissantes pour prendre en charge de nombreuses applications et services nouveaux et passionnants. Mais dans sa forme actuelle, la technologie blockchain présente également un certain nombre d'inconvénients.

La technologie blockchain est complexe et nouvelle. Cela signifie que les ingénieurs logiciels prêts pour la blockchain sont en nombre insuffisant. Cela rend les applications basées sur la blockchain coûteuses à développer et à maintenir. [17]

Dans ce qui suit on présente les principales difficultés liées à la mise en œuvre de la Blockchain, notamment :

7.1 La scalabilité

En ce qui concerne la blockchain, la scalabilité est un sujet de préoccupation majeur. En effet, par conception, la scalabilité de ces réseaux décentralisés peut être un défi, car une augmentation de la charge peut, en théorie, réduire leur degré de décentralisation et, par conséquent, affecter leur sécurité. Cependant, diverses solutions sont continuellement déployées sur des blockchains comme Ethereum pour atténuer ce problème. [18]

7.2 L'évolutivité

Est actuellement un problème majeur pour la technologie blockchain - un problème que beaucoup ont essayé de surmonter au cours des dernières années. Même si de nombreux progrès ont été réalisés, la plupart des technologies n'ont pas atteint un niveau de débit suffisamment élevé pour une adoption massive, tout en exigeant des compromis en termes de sécurité, de décentralisation ou des deux, ce qui n'est jamais une bonne chose. [19]

7.3 La sécurité

La sécurité de la blockchain est un défi complexe qui repose sur trois piliers : la technologie, l'organisation et le droit.

- La technologie de la blockchain repose sur des principes de cryptographie et de distribution qui la rendent très sécurisée. Cependant, elle n'est pas infaillible et peut

- Être vulnérable à des attaques, comme l'attaque de la DAO en 2016.
- Le droit est également un élément important de la sécurité de la blockchain. Il permet de définir les responsabilités des différents acteurs et de réglementer l'utilisation de la blockchain. [20]

8 Conclusion

En conclusion, la blockchain constitue une véritable révolution dans le domaine des systèmes d'information et des transactions numériques. En étudiant les principes fondamentaux de la blockchain, nous avons constaté son fonctionnement unique basé sur la décentralisation, la transparence et la sécurité. Les différents types de blockchain, qu'il s'agisse de blockchain publique, privée, hybride ou de consortium, offrent des solutions adaptées à diverses applications et besoins spécifiques.

Chapitre 3 :

Etat de l'art

Chapitre 3 : Etat de l'art

1 Introduction

Dans cette section, nous examinons cinq travaux qui présentent des approches pour le suivi et le traçage de la marchandise. Ces recherches visent à développer des mécanismes et des méthodes permettant aux marchandises à être en sécurité en exploitant les informations disponibles. En d'autres termes, elles cherchent à proposer des méthodes qui aident à suivre le parcours complet d'un produit depuis sa fabrication jusqu'à sa livraison finale au client avec des garanties de la transparence, et d'assurance de la conformité aux normes et réglementation.

2 Etude des travaux existants

2.1 Méthodologie de conception et d'implémentation de la technologie blockchain dans le secteur industriel [21]

Dans le mémoire [21] l'auteur a étudié la possibilité d'utiliser la blockchain privée pour le projet AppleNet. Ce dernier repose sur une infrastructure blockchain pour rationaliser la gestion de la chaîne d'approvisionnement d'une multinationale (walmart) du produit lots de pommes. À travers l'utilisation de contrats intelligents tels que AppleContract, ShippingAppleContract et, des ProcessedAppleContract, les opérations liées à la cueillette, au traitement et à l'expédition des produits sont automatisées et régulées. Ces contrats intelligents définissent des règles et des états pour les actifs, garantissant ainsi la traçabilité et la transparence tout au long du processus. En parallèle, des applications web sont développées pour permettre aux acteurs de la chaîne d'interagir avec le registre blockchain de manière intuitive, facilitant ainsi la communication et la gestion des transactions.

Pour cet article, la blockchain utilisée est hyperledger fabric qui est de type privé.

2.2 Using NFTs and Blockchain for Traceability and Auctioning of Shipping Containers and Cargo in Maritime Industry [22]

Les auteurs de l'article [22] présente une solution innovante basée sur la blockchain pour suivre les expéditions de conteneurs dans l'industrie maritime, mettant en avant la traçabilité, la sécurité et l'authenticité des enregistrements du processus. Les auteurs ont utilisé des contrats intelligents et des jetons non fongibles (NFTs) pour créer un système transparent et sécurisé. Les contrats intelligents sont programmés pour gérer les différentes étapes du processus, comme la création, la gestion et le transfert de propriété des NFTs représentant les conteneurs. Par exemple, lorsqu'un nouveau NFT est nécessaire pour un nouveau conteneur, un contrat intelligent génère et attribue un NFT unique. De même, lors du transfert de propriété d'un conteneur, les contrats intelligents mettent à jour les enregistrements de propriété sur la blockchain. Les transporteurs stockent également des documents associés aux conteneurs sur le système de fichiers interplanétaire (IPFS), offrant ainsi aux parties prenantes un accès transparent et sécurisé à ces documents.

Pour cet article, la blockchain utilisée est Ethereum qui est de type de public.

2.3 Medical supply chain integrated with blockchain and IoT to track the logistics of medical products [23]

Les auteurs de l'articles [23] présentent l'architecture NAIBHSC, qui combine l'IoT avec la blockchain pour améliorer la gestion de la chaîne d'approvisionnement des produits de santé. En utilisant Ethereum et des contrats intelligents, NAIBHSC propose un système transparent, sécurisé et efficace. Les appareils IoT, tels que des capteurs, des codes QR (QR : Quick réponse), des étiquettes d'identification par radiofréquence (RFID : Radio-Frequency identification), des étiquettes NFC (NFC : Near Field Communication) et des systèmes de codes-barres, jouent un rôle clé en fournissant une visibilité en temps réel sur les produits de santé tout au long de la chaîne d'approvisionnement. Le processus commence par la création d'un contrat intelligent pour gérer la fabrication et le téléchargement de l'image du produit sur un serveur IPFS (InterPlanetary File System) qui est un système distribué de fichiers pair à pair qui ne dépend pas de serveurs centralisés. Ensuite, la vente et l'achat de produits sont autorisés en fonction de l'ID du propriétaire et du montant transféré. Quatre interfaces sont présentées pour enregistrer les propriétaires, les utilisateurs, suivre les produits et transférer les produits. Les clients peuvent suivre la position en temps réel des produits grâce à un identifiant de suivi fourni par le fabricant.

Pour cet article, la blockchain utilisée est Ethereum qui est de type public.

2.4 Modeling and analysis of port supply chain system based on Fabric blockchain [24]

Dans l'article [24], les auteurs ont proposé une blockchain nommée Fabric-PSChain basé sur la blockchain Fabric. L'initiation du système est le point de départ du processus, où l'Autorité de Certification crée les certificats numériques pour les entreprises et où les régulateurs établissent les relations d'autorisation de rôle. Ensuite, l'administrateur déploie le code de la chaîne et permet aux utilisateurs de se connecter pour télécharger les données et effectuer des requêtes. Les autorisations pour chaque rôle sont les suivantes : l'Autorité de Certification est responsable de générer des certificats numériques pour les entreprises et les régulateurs, les régulateurs surveillent et audient les données des entreprises pour assurer la légalité et la conformité, en définissant et en mettant en œuvre des politiques de contrôle d'accès, l'administrateur déploie et configure le code de la chaîne, gère les autorisations des utilisateurs et surveille les opérations du système et enfin, les utilisateurs peuvent télécharger des données sur la chaîne, effectuer des requêtes pour accéder aux données et mettre à jour les informations de commande et de cargaison. Le modèle de contrôle d'accès basé sur les rôles (RBAC : Role-Based-Access-Control) est au cœur du système, où chaque décision d'accès est déterminée par le rôle de l'utilisateur. Le contrat de formulation de politique (policyf-contract) établit cette politique de contrôle d'accès basée sur les rôles, tandis que le contrat de liste de contrôle d'accès (listac-contract) permet de récupérer une liste spécifique. Le contrat de téléchargement de liste de commandes (orderu-contract) assure que seul le consignateur a accès à cette fonctionnalité, générant un identifiant unique pour la liste de commandes. Enfin, le contrat de requête de commande de fret (orderq-contract) permet de consulter des informations de commande en fonction de l'identité du visiteur, renvoyant la liste des commandes pour un accès complet, les informations sur la cargaison pour un accès partiel, et un message d'erreur en l'absence d'autorisation de requête.

Pour cet article, la blockchain utilisée est Fabric-PSChain basé sur Fabric qui est de type privé.

2.5 A peer-to-peer blockchain-based architecture for trusted and reliable agricultural product traceability [25]

Le réseau de traçabilité des produits agricoles proposé par les auteurs de l'article [25] repose sur un système peer-to-peer, en mettant en évidence l'utilisation des systèmes d'identité auto-souverains (SSI: Self-Sovereign Identity) et des systèmes de gestion de clés décentralisés (DKMS: Key Management System Decentralized). Les SSI permettent aux personnes d'avoir un contrôle total sur leurs données d'identification, ce qui renforce la sécurité et la confidentialité des données tout au long de la chaîne d'approvisionnement. Les DKMS garantissent une gestion sécurisée des clés cryptographiques, renforçant ainsi la sécurité des transactions et la protection contre la fraude. Les informations de traçabilité des produits agricoles ont été enregistrées de manière transparente et fiable grâce à l'utilisation de la blockchain Fantom, qui a créé un registre immuable de toutes les transactions et événements tout au long de la chaîne d'approvisionnement. La blockchain Fantom est utilisée pour enregistrer chaque étape du processus, depuis la production agricole jusqu'à la vente au consommateur final, garantissant ainsi l'intégrité des données et la confiance dans l'ensemble du système. La blockchain Fantom enregistre de manière sécurisée toutes les informations telles que l'origine des produits, les détails de la production, les conditions de stockage, les transactions de vente, etc., ce qui permet une traçabilité complète et vérifiable à tout moment.

Pour cet article, la blockchain utilisée est Fantom basé sur Ethereum qui est de type de public.

3 Etude comparative

3.1 Tableau Récapitulatif

Afin de comparer les travaux nous nous sommes focalisés sur les critères suivants :

- **Critère 1 (C1) :** Technologie de traçage : permettent de suivre le parcours d'un produit du début à la fin, de sa production à sa livraison finale
- **Critère 2 (C2) :** Type de marchandises : regroupent une large variété de biens physiques, allant des matières premières aux produits manufacturés
- **Critère 3 (C3) :** Étape de la chaîne d'approvisionnement : orchestre le parcours d'un produit, depuis sa conception jusqu'à sa livraison au client final.
- **Critère 4 (C4) :** Objectif du traçage : Le traçage des marchandises vise divers objectifs tels que l'authentification et la lutte contre la contrefaçon.
- **Critère 5 (C5) :** Type de la blockchain

Le tableau suivant illustre un résumé des travaux passés en revues.

Article	C1	C2	C3	C4	C5
ARTICLE [21]	-Système de permission -contrats intelligent	- Lots de pommes	- De la cueillette à la livraison	- suivre et vérifier l'état des lots (Ex: température)	-hyperledger fabric (privée)
ARTICLE [22]	-Contrats intelligents -Jetons non fongibles (NFTs)	-Conteneurs	-Création, gestion et transfert de propriété des NFTs représentant les conteneurs	-traçabilité complète -Sécurité renforcée -Gestion transparente des documents dans l'industrie maritime	-Ethereum (public)
ARTICLE [23]	-IOT (ex: RFID Tags) -Contrats intelligents	-Produits médicaux	- De la fabrication des produits à la livraison aux utilisateurs finaux	- prévention de la contrefaçon - répondre aux besoins des utilisateurs	-Ethereum (public)

ARTICLE [24]	-Contrats intelligents -RBAC	-porte conteneurs	- création de certificats numériques pour les entreprises et l'établissement de relations d'autorisation de rôle	- garantir la légalité et la conformité des opérations de transport de marchandises	-Fabric-PSChain basé sur la blockchain Fabric (public)
ARTICLE [25]	-SSI (SSI: Self-Sovereign Identity) -DKMS(Key Management System Decentralized)	- Produits agricoles	- De la production agricole à la distribution finale des produits.	- la traçabilité, la transparence, la sécurité et la fiabilité des informations sur les produits	-Fantom base sur Ethereum (public)

Tableau 3- Tableau récapitulatif des travaux passés en revues-

3.2 Étude critique

L'article [21] souligne l'importance de la technologie de la blockchain pour améliorer la traçabilité et la transparence dans la chaîne d'approvisionnement des fabricants. Toutefois, une approche plus technique et détaillée et pourrait être utile afin de fournir une compréhension approfondie de sa mise en œuvre. Le deuxième article [22] traite des aspects concrets de l'utilisation des NFTs et de la blockchain afin de garantir la traçabilité des expéditions de conteneurs. Il propose des exemples concrets, mais pourrait aussi englober une analyse plus approfondie des difficultés potentielles de mise en œuvre. L'article [23] souligne les avantages de la blockchain dans la gestion des soins de santé, tout en tenant compte des défis potentiels de sa mise en place dans un contexte médical. Il est possible qu'une approche plus technique renforce sa compréhension. Dans L'article [24] une approche plus technique est adoptée pour le suivi de porte conteneur dans le transport maritime. Cela en décrivant spécifiquement le modèle en se concentrant sur les rôles et les divers contrats intelligents utilisés. Toutefois il pourrait également bénéficier d'exemples concrets d'application dans des environnements portuaires réels. Les avantages de la blockchain pour garantir la traçabilité des produits agricoles sont mis

en avant dans l'article [25], tout en mettant en évidence les difficultés potentielles de mise en œuvre. Une méthode plus approfondie pourrait accroître sa crédibilité dans le secteur agricole.

4 Conclusion

En conclusion, une analyse détaillée des articles étudiés met en évidence une variété d'approches dans l'utilisation de la technologie blockchain pour la traçabilité des produits. Des facteurs tels que la transparence, la sécurité et la collaboration entre les parties prenantes influencent le choix de la blockchain, que ce soit pour le public, le privé ou le consortium. Chaque méthode comporte ses propres bénéfices et désavantages, et la sélection de la solution la plus adaptée dépendra des exigences particulières de chaque situation d'utilisation. Finalement, la technologie de la blockchain présente un immense potentiel pour renforcer la trace des produits et renforcer la confiance des consommateurs dans les chaînes d'approvisionnement.

Chapitre 4 :
Applications existantes de suivi et traçage
des marchandises

Chapitre 4 : Applications existantes de suivi et traçage des marchandises

1 Introduction

Dans ce chapitre, nous examinerons comment la blockchain est utilisée pour le suivi et le traçage, afin de nous inspirer pour développer notre propre solution.

2 AppleNet

Dans ce mémoire [21] l'auteur a implémenté le projet mis en œuvre pour la traçabilité des pommes. Il utilise un réseau blockchain Hyperledger Fabric où différents acteurs de la chaîne d'approvisionnement des pommes peuvent collaborer de manière sécurisée et transparente.

2.1 Phases de la Chaîne d'Approvisionnement

1. Phase de BRUTE (Cueillette)

- L'organisme de cueillette crée un nouveau lot de pommes avec les attributs suivants : picker, appleNum, storageTemp.
- Utilisation du contrat intelligent pour maintenir l'ordre et la vérification des opérations de cueillette.

2. Phase de PROCESSED (Nettoyage)

- L'organisme de nettoyage reçoit les pommes de la phase BRUTE et met à jour les informations de storageTemp.
- Transmission du lot nettoyé à la phase suivante (SHIPPING) via un contrat intelligent dédié.

3. Phase de SHIPPING (Expédition)

- L'organisme d'expédition reçoit les pommes nettoyées et met à jour la destination.
- Finalisation de l'expédition et transmission au marché ou au client final.

2.2 Gestion des États des Actifs Apple

Chaque lot de pommes est représenté par la classe Apple, qui contient des variables telles que picker, opDateTime, storageTemp, destination, et currentState (allant de 1 à 9 pour suivre les neuf états possibles). Ces états incluent des étapes comme Picked, Received_P, et Received_S, chacun nécessitant une vérification séquentielle via les méthodes définies dans applecontract.ts.

2.3 Utilisation de Contrats Intelligents

Les contrats intelligents sur Hyperledger Fabric jouent un rôle crucial dans la régulation de l'ordre des opérations et dans la vérification de l'état séquentiel des actifs Apple. Chaque organisme possède des rôles définis pour ses employés, permettant une gestion efficace des permissions au sein du réseau blockchain.

2.4 Fonctionnalités de l'application :

L'application propose deux interfaces distinctes :

2.4.1 Interface utilisateur :

Elle permet aux utilisateurs (les cueilleurs, les récepteurs, les responsables de traitement, les expéditeurs) d'identifier le lot de pommes, de suivre leur traitement et leur expédition, et de consulter les informations clés comme la température et la date.

Des boutons spécifiques à chaque rôle (Réception, Traitement, Expédition) permettent d'effectuer des actions comme le traitement ou l'expédition des pommes.

Un système de couleurs permet de visualiser rapidement les températures.

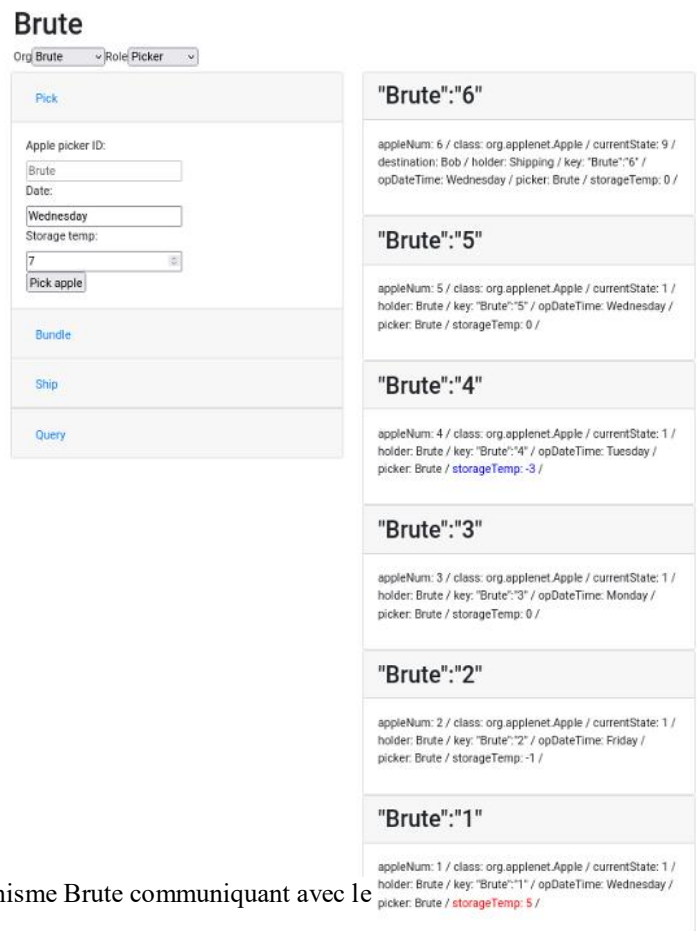
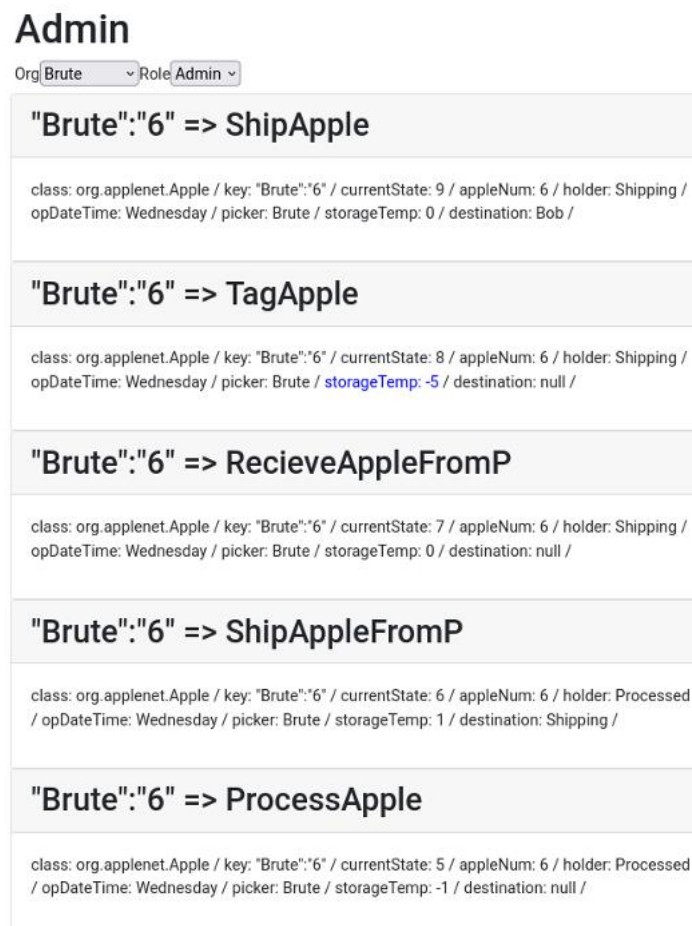


Figure 3- Capture d'écran de l'application web de l'organisme Brute communiquant avec le réseau AppleNet.-

2.4.2 Interface administrative :

Cette interface permet aux administrateurs d'accéder à une capture détaillée des événements générés par le contrat intelligent AppleContract. Elle affiche clairement les événements pertinents liés à chaque modification d'état des actifs sur le registre blockchain, facilitant ainsi une gestion proactive des opérations. Les informations sont présentées de manière organisée, permettant de repérer rapidement les problèmes potentiels tels que les températures de stockage anormales, indiquées par des codes couleur spécifiques.



The screenshot shows an administrative interface titled "Admin". At the top, there are two dropdown menus: "Org" set to "Brute" and "Role" set to "Admin". Below this, there is a list of five events, each with a title and a detailed JSON-like description of the event's state.

Event Title	Event Description
"Brute": "6" => ShipApple	class: org.applenet.Apple / key: "Brute": "6" / currentState: 9 / appleNum: 6 / holder: Shipping / opDateTime: Wednesday / picker: Brute / storageTemp: 0 / destination: Bob /
"Brute": "6" => TagApple	class: org.applenet.Apple / key: "Brute": "6" / currentState: 8 / appleNum: 6 / holder: Shipping / opDateTime: Wednesday / picker: Brute / storageTemp: -5 / destination: null /
"Brute": "6" => RecieveAppleFromP	class: org.applenet.Apple / key: "Brute": "6" / currentState: 7 / appleNum: 6 / holder: Shipping / opDateTime: Wednesday / picker: Brute / storageTemp: 0 / destination: null /
"Brute": "6" => ShipAppleFromP	class: org.applenet.Apple / key: "Brute": "6" / currentState: 6 / appleNum: 6 / holder: Processed / opDateTime: Wednesday / picker: Brute / storageTemp: 1 / destination: Shipping /
"Brute": "6" => ProcessApple	class: org.applenet.Apple / key: "Brute": "6" / currentState: 5 / appleNum: 6 / holder: Processed / opDateTime: Wednesday / picker: Brute / storageTemp: -1 / destination: null /

Figure 4-Capture d'écran de l'application web pour les administrateurs. -

3 L'expédition des marchandises des transport routier via la blockchain

3.1 Introduction

Dans le mémoire [26],ils ont proposé une application qui a pour but d'assurer la traçabilité des produits pendant la phase d'expédition par les transporteurs, juste avant que les clients ne les reçoivent. Pour ce faire ils ont utilisé des contrats intelligents écrits en Solidity sur la blockchain Ethereum,truffle pour le développement et le déploiement, et Ganache pour un environnement de test local. Metamask et web3.js permettent aux utilisateurs d'interagir facilement avec la blockchain, formant un backend sécurisé et efficace pour leur application

3.2 Description de l'application

Les différentes interfaces de l'application :

1. L'interface de la Page d'Accueil :

La page d'accueil va permettre aux utilisateurs (Expéditeur et Transporteur/Client) de se diriger vers la page correspondant à chacun d'entre eux. (figure5)



Figure 5- page d'accueil-

2. L'interfaces « Pour l'Expéditeur »

« **Authentification** » : Seul l'expéditeur est autorisé à s'identifier pour accéder à sa page d'accueil (Figure 6)

« **Page d'accueil expéditeur** » : elle se compose de trois boutons fonctionnels) : Ajouter transporteur, Ajouter produit et Affecter un transporteur pour chaque client. (Figure 7)



Figure 7-page d'accueil expéditeur-

Veillez vous connecter

Adresse e-mail

Mot de passe

S'identifier

© 2020-2021

Figure 6-Authentification-

« **Ajouter transporteur** » : En cliquant sur le bouton « Ajouter transporteur » (voir figure 7), une nouvelle interface s'ouvre (fenêtre d'interface d'ajout des transporteurs) permettant à l'expéditeur d'enregistrer de nouveaux Transporteurs en saisissons leur informations (Matricule, nom.) . (Figure8)

Formulaire d'inscription
Transporteur

Matricule

Nom

Statut

Véhicule

mode_transport

kilometrages

poids_transporté

VALIDER

Figure 8- interface d'ajout des transporteurs-

« **Ajouter produit** » En sélectionnant l'option « Ajouter produit » (voir figure 7), une nouvelle fenêtre s'ouvre (fenêtre d'interface d'ajout des produits, illustrée dans (la figure 9), permettant à l'expéditeur d'enregistrer de nouveaux produits dans le système.

**Formulaire d'inscription
Produit**

Identifiant

Libellé

Client

Adresse

Urgent

poids_transporté

Figure 9- interface pour l'ajout des produits-

« **Affecter un transporteur pour chaque produit** » : Lorsque l'expéditeur reçoit des produits pour les expédier, il doit choisir un transporteur parmi les transporteurs disponibles pour assurer la livraison. Une fois le choix validé, le statut du transporteur sélectionné passe à « false ». (figure 10)

Liste des Produits

#	libelle	Client	Adresse	urgent	poids	
2	produit2	Client B	adresse2	OUI	100	<input type="text" value="amina"/> Valider
1	produit1	Client A	adresse1	NON	50	<input type="text" value="amina"/> Valider <input type="text" value="hadja"/>

Figure 10- Fenêtre d'interface d'affectation d'un transporteur à un produit-

3. Interfaces « Pour Transporteur/Client »

« **Page d'accueil transporteur/client** » : elle se compose de trois boutons : Consulter liste des transporteurs, Consulter liste des Produit et Consulter l'état du transport de produit (Figure 11).



Figure 11-Accueil Transporteur/Client-

« **Consulter la liste des produits** » : La fenêtre illustrée dans la figure 12 s'affiche en cliquant sur le bouton « Consulter la liste des produits » illustrée dans la figure 11)

Liste des Produits

#	libelle	Client	Adresse	urgent	poids
1	produit1	Client A	adresse1	NON	50
2	produit2	Client B	adresse2	OUI	100

Figure 12-liste des produits-

« **Consulter la liste des transporteur** » : En cliquant sur le bouton « Consulter la liste des transporteurs » une interface s'affiche illustrée dans la figure 13 ci-dessous.

Liste des Transporteurs

#	Name	Statut	Vehicule	Mode_transport	Kilometrages	Poids_transporte
1	Amina	true	Camion	T_routier	120	500
2	Hadja	true	Camion_Frigo	T_routier	200	1000

Figure 13- liste des transporteurs-

« Consulter l'état de produit transporté » : En cliquant sur le bouton « Consulter l'état de produit transporté » une interface s'affiche dans laquelle le client et le transporteur peuvent suivre quel est le produit à transporter, par qui et à qui est-il destiné, Cette fonctionnalité est au cœur de l'application.

résultat de l'affectation

id_produit	nom_produit	Client	adresse	nom_transporteur
1	produit1	Client A	adresse1	Amina
2	produit2	Client B	adresse1	Hadja

Figure 14-- L'état du transport de produits-

4 NAIBHSC

4.1 INTRODUCTION

Dans l'article [23] l'application NAIBHSC vise à fournir une solution transparente, sécurisée et traçable pour suivre les produits médicaux depuis leur fabrication jusqu'à leur destination finale chez les utilisateurs finaux. En exploitant la technologie de la blockchain et de l'IoT.

4.2 Description de l'application NAIBHSC

4.2.1 Architecture de l'application

L'application NAIBHSC repose sur une architecture robuste, combinant différents composants pour assurer le suivi et le traçage efficace des marchandises dans la chaîne d'approvisionnement médicale. Les principaux composants de l'architecture comprennent :

1. La blockchaine Ethereum sert de base de données décentralisée afin d'enregistrer de manière sécurisée toutes les transactions et les données liées aux produits médicaux.
2. Contrats intelligents : Les contrats intelligents, écrits en Solidity, sont des programmes autonomes qui s'exécutent sur la blockchain Ethereum. Ils permettent d'automatiser les processus de transfert de propriété, d'achat et de suivi des produits.
3. Dispositifs IoT : Les dispositifs Internet des objets (IoT) sont utilisés pour collecter des données en temps réel sur les produits médicaux tout au long de leur parcours dans la chaîne d'approvisionnement. Ces dispositifs comprennent des capteurs, des codes QR, RFID, des étiquettes NFC et des systèmes de codes-barres

4.2.2 Fonctionnalités de l'application

L'application NAIBHSC offre plusieurs fonctionnalités essentielles pour garantir un suivi précis des marchandises médicales :

1. Product owner registrations :

L'interface permet aux utilisateurs d'enregistrer facilement de nouveaux produits dans le système de gestion de la chaîne d'approvisionnement médicale.

La page d'inscription permet aux utilisateurs d'enregistrer un nouveau produit, pour cela l'utilisateur doit d'abord saisir son ID de compte et le nom du produit. Ensuite, il doit saisir le coût du produit, ses spécifications et sa description. Enfin, il doit cliquer sur le bouton « register product »

The screenshot shows a web application interface for 'MEDICAL SUPPLY CHAIN MANAGEMENT'. At the top, there is a navigation bar with 'Home', 'Register Product', and 'Transfer Product' links, along with 'Login' and 'Sign Up' options. A warning message at the top reads: 'Warning! YOU MUST HAVE AN ACCOUNT (MANUFACTURER) TO REGISTER A NEW PRODUCT!'. The main content area features a 'Registration' form with the following fields: 'Account ID' (with a placeholder 'Account number'), 'Product Name' (with a placeholder 'Enter product name'), 'Product Cost' (with a placeholder 'Enter product cost'), 'Product Specifications' (a text area), and 'Product Description' (a text area). A blue 'Register Product' button is located at the bottom of the form.

Figure 15-Product owner registrations-

2. User registration :

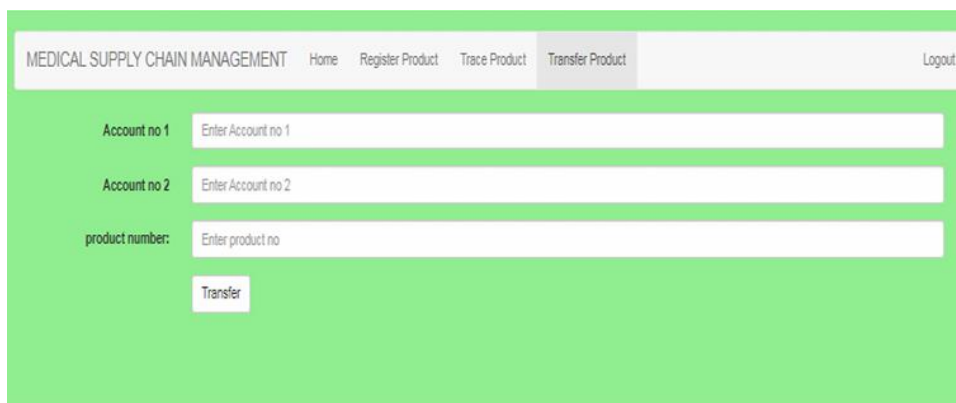
Cette interface permet aux utilisateurs de créer un nouveau compte. Pour ce faire l'utilisateur doit d'abord saisir son nom, son nom d'utilisateur et son mot de passe. Ensuite, il doit confirmer son mot de passe et sélectionner son type d'utilisateur. Enfin, il doit cliquer sur le bouton « créer un compte »

The screenshot shows the 'User registration' form in the 'MEDICAL SUPPLY CHAIN MANAGEMENT' system. The navigation bar is identical to Figure 15. The 'Registration' form includes: 'Name' (with a placeholder 'Username'), 'Password' (with a placeholder 'Password'), 'Confirm Password' (with a placeholder 'Password'), and a dropdown menu labeled 'Select Your Type'. A blue 'Register Account' button is at the bottom. Below the form, the text 'No response' is displayed.

Figure 16-User registration-

3. Product tracking :

Cette interface va permettre aux utilisateurs de suivre l'emplacement d'un produit en saisissant son numéro de suivi dans le champ de saisie prévu à cet effet. Ensuite, il doit cliquer sur le bouton « Suivi ». Le système renverra alors des informations sur l'emplacement du produit.



The screenshot shows a web interface for 'MEDICAL SUPPLY CHAIN MANAGEMENT'. The navigation bar includes 'Home', 'Register Product', 'Trace Product', 'Transfer Product', and 'Logout'. The 'Transfer Product' tab is active. The main content area has a light green background and contains three input fields: 'Account no 1' (with placeholder 'Enter Account no 1'), 'Account no 2' (with placeholder 'Enter Account no 2'), and 'product number:' (with placeholder 'Enter product no'). Below these fields is a 'Transfer' button.

Figure 17-Product tracking-

4. Product transfer between participants :

Cette interface permet aux utilisateurs de transférer des produits d'un compte à un autre en saisissant le numéro de compte de l'expéditeur, le numéro de compte du destinataire et le numéro de produit dans le champ de saisie respectifs. Ensuite, il doit cliquer sur le bouton « transfert ». Le système enregistre alors le transfert du produit.



The screenshot shows a web interface for 'MEDICAL SUPPLY CHAIN MANAGEMENT'. The navigation bar includes 'Home', 'Register Product', 'Trace Product', 'Transfer Product', and 'Logout'. The 'Trace Product' tab is active. The main content area has a light green background and contains one input field: 'Tracking number:' (with placeholder 'Enter track no'). Below this field is a 'Track' button.

Figure 18-Product transfer between participants-

Chapitre 5 :
Conception et réalisation de notre
application

Chapitre 5 : Conception et réalisation de notre application

1 Introduction

La première partie de ce chapitre est consacrée à la conception, nous avons choisis de les modaliser avec le formalisme UML qui se fait par l'utilisation des diagrammes, et le processus unifié comme démarche d'analyse.

Dans la deuxième partie qui est consacrée à la réalisation et la mise en œuvre de notre application basé sur la blockchain Ethereum , nous présenterons les outils de développement utilisée , ainsi que quelques interfaces de notre application

2 Méthodologie de conception

2.1 Le processus unifié

Le Processus Unifié ou UP (Unified Process) est une méthode générique de développement de logiciel développée par les concepteurs d'UML

Up gère le processus de développement par deux axes :

L'axe vertical représente les principaux enchainements des activités.

L'axe horizontal représente le temps et montre le déroulement du cycle de vie du processus.

1. Les activités :

- **L'expression des besoins** : comme son nom l'indique, elle permet de définir les différents besoins [27]
- **Analyse** : L'objectif de l'analyse est d'accéder à une compréhension des besoins et des exigences du client. [27]
- **La conception** : elle permet d'acquérir une compréhension approfondie des contraintes liées au langage de programmation, à l'utilisation des composants et au système d'exploitation. [27]
- **L'implémentation** : elle consiste à construire un programme en utilisant un langage de programmation donnée. [27]
- **Test** : Les tests permettent de vérifier des résultats de l'implémentation en testant la construction. [27]

2. Les phases :

- **Analyse des besoins :** L'analyse des besoins donne une vue du projet sous forme de produit fini. Cette phase porte essentiellement sur les besoins principaux (du point de vue de l'utilisateur), l'architecture générale du système, les risques majeurs, les délais et les coûts [27]
- **L'élaboration :** L'élaboration reprend les éléments de la phase d'analyse des besoins et les précise pour arriver à une spécification détaillée de la solution à mettre en œuvre. Elle permet de préciser la plupart des cas d'utilisation, de concevoir l'architecture du système. [27]
- **La construction :** La construction est le moment où l'on construit le produit. Le produit contient tous les cas d'utilisation que les chefs de projet en accord avec les utilisateurs ont décidé de mettre au point pour cette version. [27]
- **La transition :** Le produit est en version bêta. Un groupe d'utilisateurs essaye le produit et détecte les anomalies et défauts. [27]

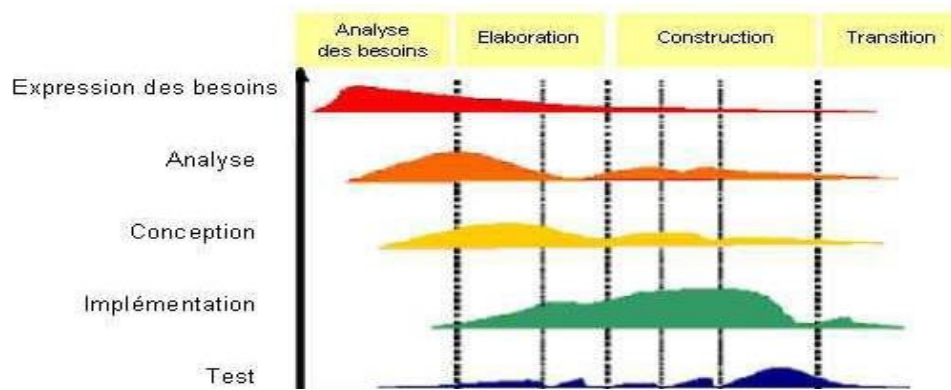


Figure 19-Description du processus unifié- [27]

2.2 Définition de l'uml

Langage de modélisation objet unifié est une démarche orientée objet. Il permet, grâce à un ensemble de diagrammes très explicites, de représenter l'architecture et le fonctionnement des systèmes informatiques complexes. [28]

Pour notre cas nous avons élaborer 3 diagrammes : un diagramme de cas d'utilisation, un diagramme de séquence et un diagramme de cas de classe.

3 Approche adoptée

Notre approche est centrée sur l'utilisation de la blockchain pour garantir l'immutabilité des données et la transparence des transactions. Nous nous appuyons sur la structure de la blockchain elle-même et sur une gestion décentralisée des transactions pour enregistrer les informations.

Notre application qui est conçue spécifiquement pour le Bejaia Mediterranean Terminal (BMT), implique quatre acteurs principaux : compagnie maritime, l'agent de la BMT, le commanditaire et l'administrateur de l'application, qui est également le mineur de la blockchain. Avant l'arrivée d'un conteneur au port de Bejaia, la compagnie maritime remplit les informations relatives au conteneur (le numéro, le type, le poids, le nom de la compagnie maritime, le port d'origine, le port de transbordement, le port de destination, le numéro de sseau, le code ISO, la catégorie, et la date et l'heure estimée d'arrivée). Une fois ces informations saisies dans l'application, elles génèrent une transaction soumise à une validation pour être ajoutée à la blockchain.

À l'arrivée du conteneur, l'agent de la BMT ajoute de nouvelles informations (la date et l'heure d'arrivée, l'état et le statut du conteneur) sans pouvoir modifier les informations précédemment fournies par la compagnie maritime. Cette action génère une nouvelle transaction qui sera soumise à une validation pour être ajoutée à la blockchain.

L'administrateur, qui joue également le rôle de mineur interne, examine chaque transaction pour en assurer la validité. Une fois validée, la transaction est ajoutée à la blockchain locale. Ce processus manuel de validation maintient la sécurité et l'intégrité des données.

Le commanditaire, de son côté, peut aussi consulter les informations enregistrées et ajouter de nouvelles informations (l'état du conteneur, la date et l'heure de la réception du conteneur, état et statue du conteneur). Générant ainsi une nouvelle transaction qui va suivre le même processus de validation. Enfin, chaque étape de la restitution et du retour des conteneurs est également enregistrée sous forme de transactions, assurant une traçabilité complète et immuable.

Nous avons opté pour l'utilisation de la blockchain Ethereum, cette approche permet de garantir la fiabilité, la vérifiabilité et la transparence des informations grâce à l'utilisation de la

blockchain Ethereum, tout en optimisant les coûts et les ressources nécessaires pour la gestion des transactions.

4 Spécification des besoins

• Identification des acteurs et leurs rôles

Un acteur est un utilisateur qui interagit avec un système. Il peut être une personne, une organisation ou un système externe qui interagit avec l'application ou un système. Il s'agit nécessairement d'objets externes qui produisent ou consomment des données. [29]

Dans le cas de notre application nous avons identifié 4 acteurs :

1. Compagnie maritime :

- Saisit les informations du conteneur.
- Envoie le premier bloc à l'agent de la BMT.
- Reçoit le dernier bloc.

2. Agent de la BMT :

- Vérifie les informations des conteneurs à leur arrivée.
- Ajoute les informations supplémentaires (nom de l'agent BMT, date et heure d'arrivée, état et statut du conteneur à l'arrivée).
- Génère le nouveau bloc avec les informations ajoutées.
- Vérifie les informations des conteneurs lors de leur restitution.
- Ajout les informations supplémentaires (date et heure de retour, statut et état final) .
- Génère le nouveau bloc avec les informations ajoutées.

3. Commanditaire :

- Vérifie les informations à leur réception.
- Ajoute les informations lors de la réception des conteneurs (nom du commanditaire, date et heure de la réception, état et statut du conteneur à la réception, date et heure de la restitution, statut et état du conteneur à la restitution).
- Génère le nouveau bloc avec les informations ajoutées.

4. Administrateur /mineur :

- Valide et ajoute les blocs générés par l'utilisateur à la blockchain.

5 Identification des besoins

5.1 Besoins fonctionnels

Les besoins fonctionnels se rapportent aux fonctionnalités que l'application en question doit offrir pour satisfaire les utilisateurs. Il s'agit des fonctionnalités du système. Ce sont les besoins spécifiant un comportement d'entrée/sortie du Système. [30]

- **Suivi des Conteneurs** : Permettre la traçabilité des conteneurs.
- **Vérification des Informations** : Les agents de la BMT, le Commanditaire doivent pouvoir vérifier et ajouter des informations.
- **Génération de Blocs** : Chaque étape doit être enregistrée dans un bloc sur la blockchain.
- **Consultation des Blocs** : Les acteurs doivent pouvoir consulter les blocs précédents pour vérifier les informations sans pouvoir les modifier.

5.2 Besoins non fonctionnels

Les besoins non fonctionnels sont des besoins en matière de performances, matériels, contraintes d'implémentation, systèmes d'exploitation. [31]

Notre application doit répondre aux critères suivants :

- **Sécurité** : Assurer que les données soient sécurisées et non modifiables.
- **Performance** : L'application doit être capable de gérer plusieurs transactions simultanément.
- **Traçabilité** : Offrir une traçabilité complète des transactions et des activités sur la blockchain, permettant une vérification transparente des historiques et des événements.

5.3 Schéma d'Interaction des Acteurs avec la Blockchain

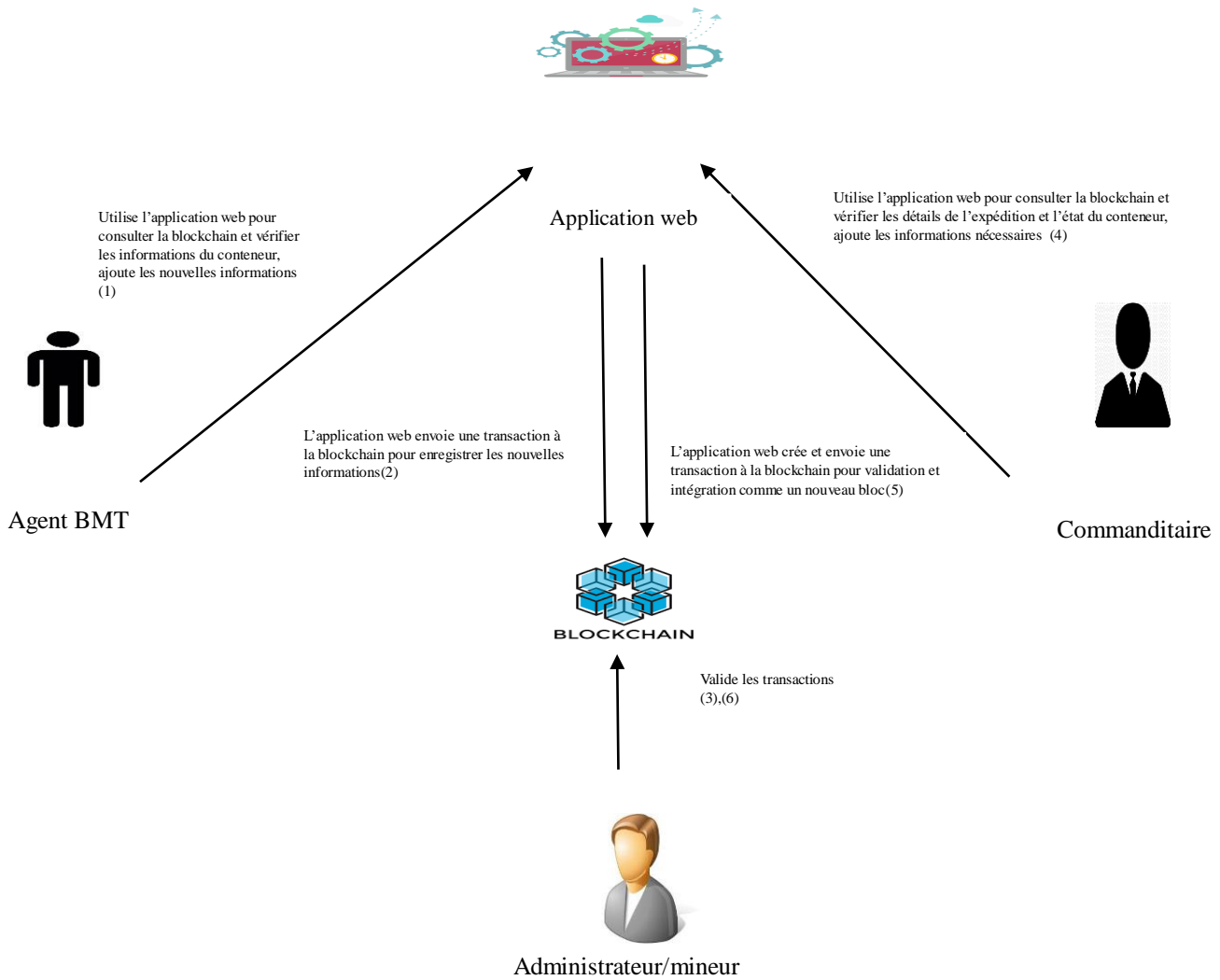


Figure 20- l'architecture de notre application web-

6 Scénario d'utilisation

- Lorsqu'un conteneur est expédié depuis le port d'origine jusqu'au port de destination, qui est Béjaïa dans notre cas, la compagnie maritime se charge de saisir toutes les informations concernant le conteneur. Générant ainsi le premier bloc.
- A l'arrivée du conteneur au port de Bejaia, un agent de la BMT vérifie les informations initiales du bloc généré par la compagnie maritime, ensuite il enregistre les nouvelles informations et génère le deuxième bloc sur la blockchain.
- Le conteneur est ensuite transporté depuis le port de Bejaia jusqu'à l'entrepôt du commanditaire, qui va vérifier le bloc précédent, enregistrer les informations de réception ainsi que celle de la restitution et génère le troisième bloc.
- Une fois le conteneurs vide restitué, l'agent de la BMT se charger de vérifier les informations de la restitution générant ainsi le quatrième bloc qui sera envoyé à la compagnie maritime.

7 Expression des besoins

7.1 Diagramme de cas d'utilisation

Le diagramme de cas d'utilisation est un diagramme UML utilisé pour donner une vision globale du comportement fonctionnel d'un système logiciel. Un cas d'utilisation représente une unité discrète d'interaction entre un utilisateur et un système. [32]

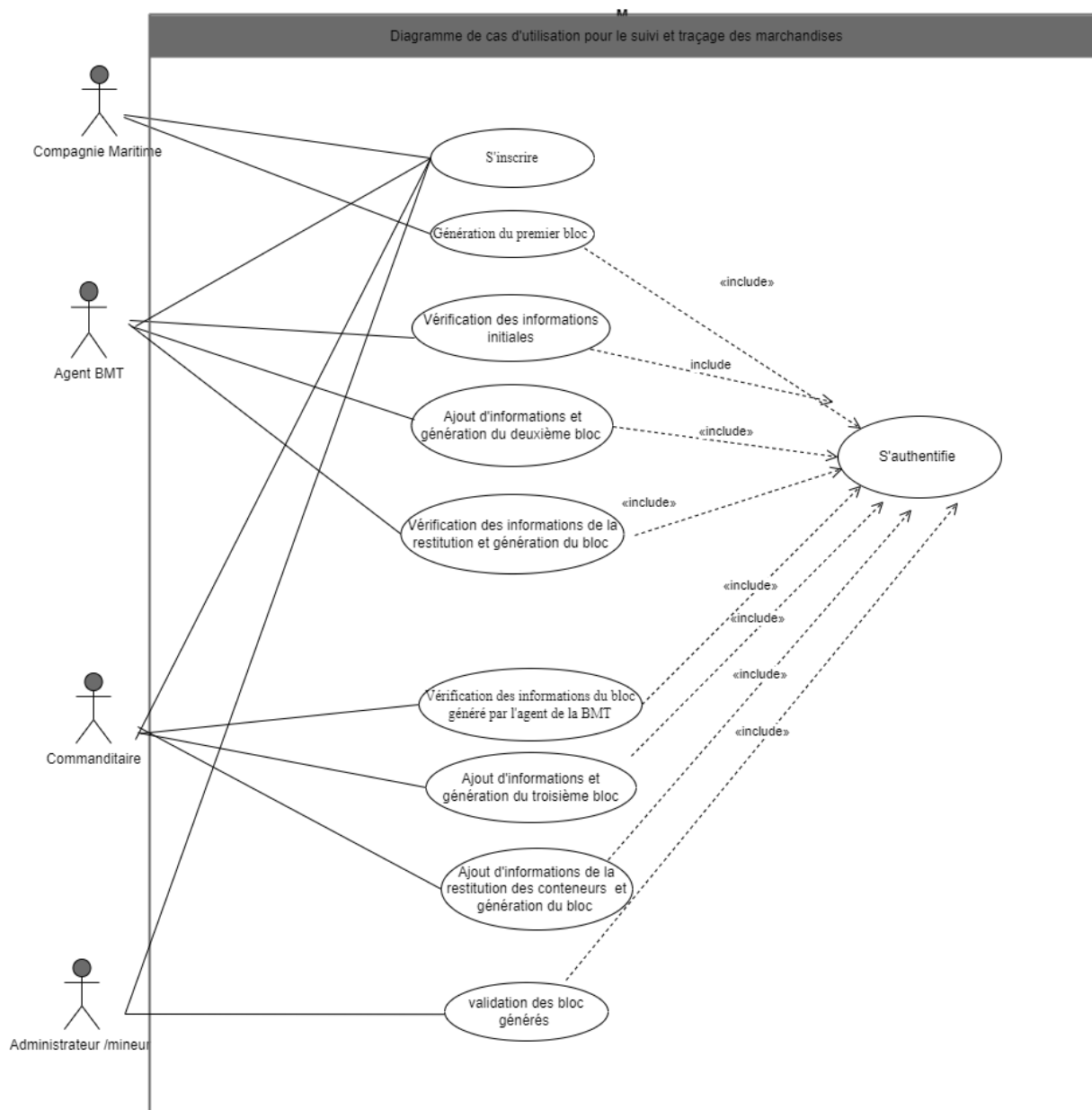


Figure 21-Diagramme de cas d'utilisation-

7.2 Diagramme de séquence

Un diagramme de séquence est défini comme un type de diagramme UML (Unified Modeling Language) utilisé dans le génie logiciel et la conception de systèmes pour visualiser les interactions et la communication entre divers composants ou objets au sein d'un système. Les diagrammes de séquence sont particulièrement utiles pour décrire le comportement dynamique d'un système et la manière dont les différents composants collaborent pour réaliser une tâche ou un objectif spécifique. [33]

a. Diagramme de séquence du cas « s'authentifier »

Le processus commence par l'accès de l'utilisateur à l'application (étape 1), où les choix de rôles sont affichés (étape 2). L'utilisateur choisit un rôle (étape 3), et l'intégration avec MetaMask est initiée pour créer un compte (étape 4). L'application demande à l'utilisateur de saisir un email et un mot de passe (étape 5), puis l'utilisateur saisit les informations demandées (étape 6). Le compte est alors créé (étape 7) et les informations du compte sont sauvegardées (étape 8). Une confirmation de la sauvegarde est envoyée à l'application (étape 9), et l'utilisateur est redirigé vers l'écran de connexion (étape 10). L'utilisateur saisit son email et son mot de passe pour se connecter (étape 11). Les informations d'authentification sont vérifiées (étape 12), et si elles sont valides, l'authentification est réussie (étape 13). L'utilisateur est alors redirigé vers l'interface correspondant à son rôle (étape 15). Si l'authentification échoue, un message d'erreur est affiché à l'utilisateur (étape 16).

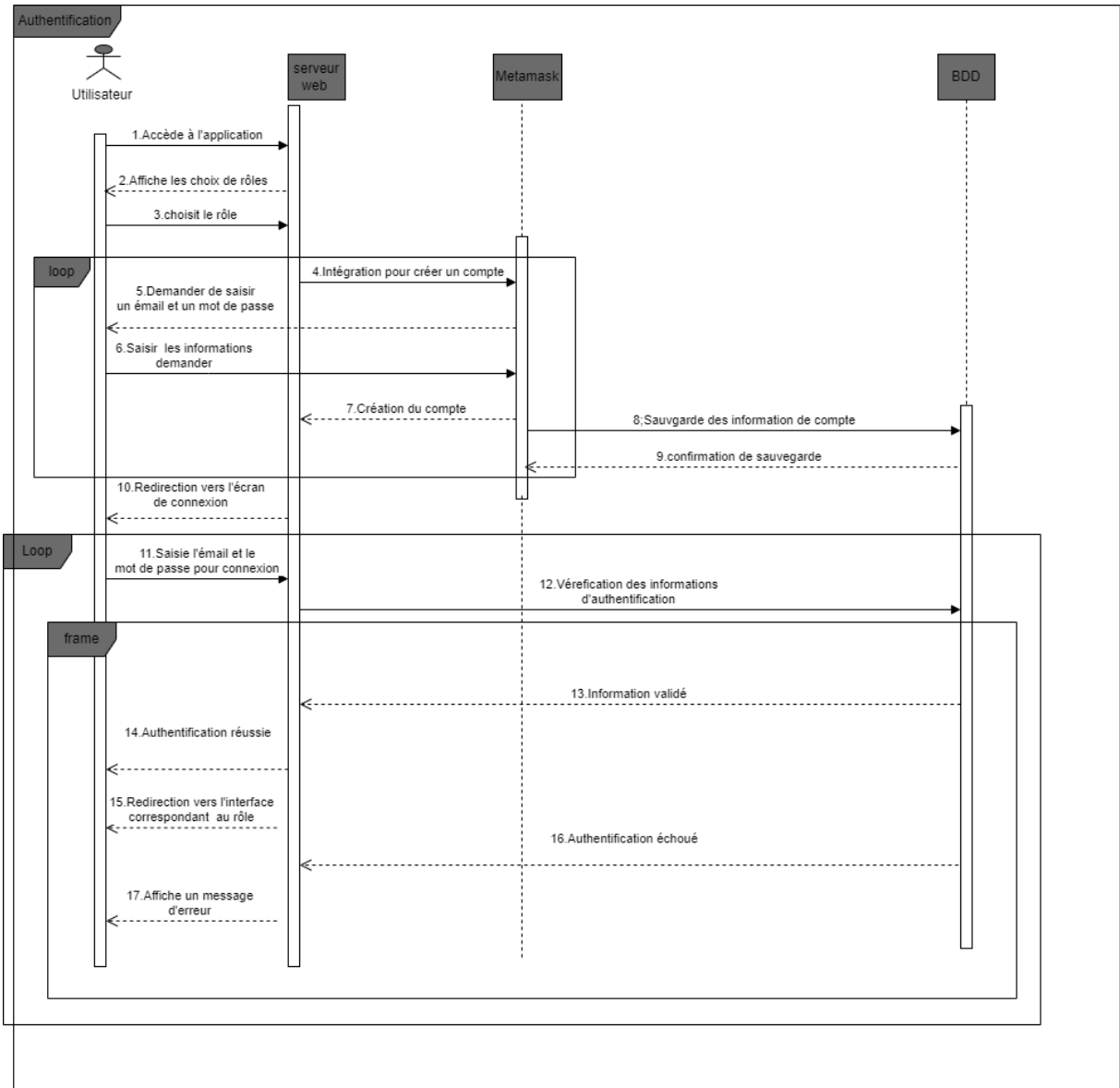


Figure 22-Diagramme de séquence du cas « s'authentifie »

b. Diagramme de séquence du cas « Ajout d'information et génération du bloc »

Le processus commence par l'authentification du mineur via le serveur web. Une fois authentifié l'utilisateur demande l'interface correspondante (étape 1), suivie de l'affichage de cette interface par le système (étape 2). L'agent remplit ensuite le formulaire (étape 3), et le système vérifie les données. En cas de champ vide, un message d'erreur est affiché (étape 4), et l'agent doit compléter les champs manquants (étape 5). Une fois que tous les champs sont valides, la transaction est envoyée (étape 6).

À ce stade, les données du formulaire sont enregistrées (étape 7). Le système envoie ensuite une confirmation d'enregistrement (étape 8), et la transaction est transmise au mineur (étape 9) pour validation finale (étape 10)

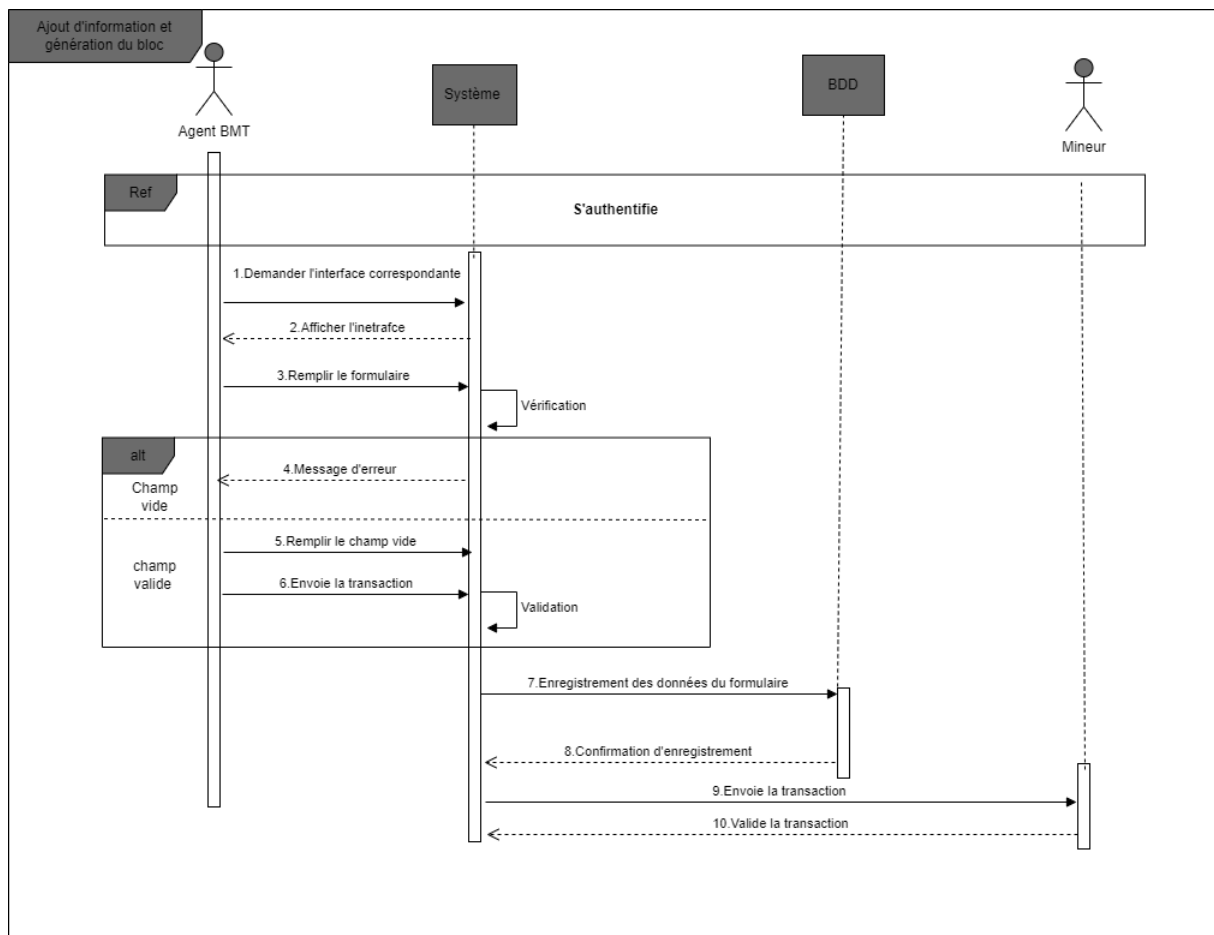


Figure 23-Diagramme de séquence du cas « Ajout d'information et génération du bloc »

C. Diagramme de séquence du cas « validation des bloc générés »

Le processus commence aussi par l'authentification du mineur via le serveur web. Une fois authentifié, le mineur demande l'accès aux transactions (étape 1), ce qui déclenche la récupération des transactions de la base de données (étape 2). Ces transactions sont ensuite affichées au mineur (étape 3). Le mineur sélectionne et valide une transaction spécifique (étape 4), ce qui initie la préparation de cette transaction par le serveur web (étape 5). La transaction préparée est alors envoyée à la blockchain pour vérification (étape 6). La blockchain valide la transaction. En fonction de la connexion à Ganache, le mineur reçoit soit une confirmation de la transaction validée (étapes 7 et 8), soit une notification d'échec de la transaction (étapes 9 et 10).

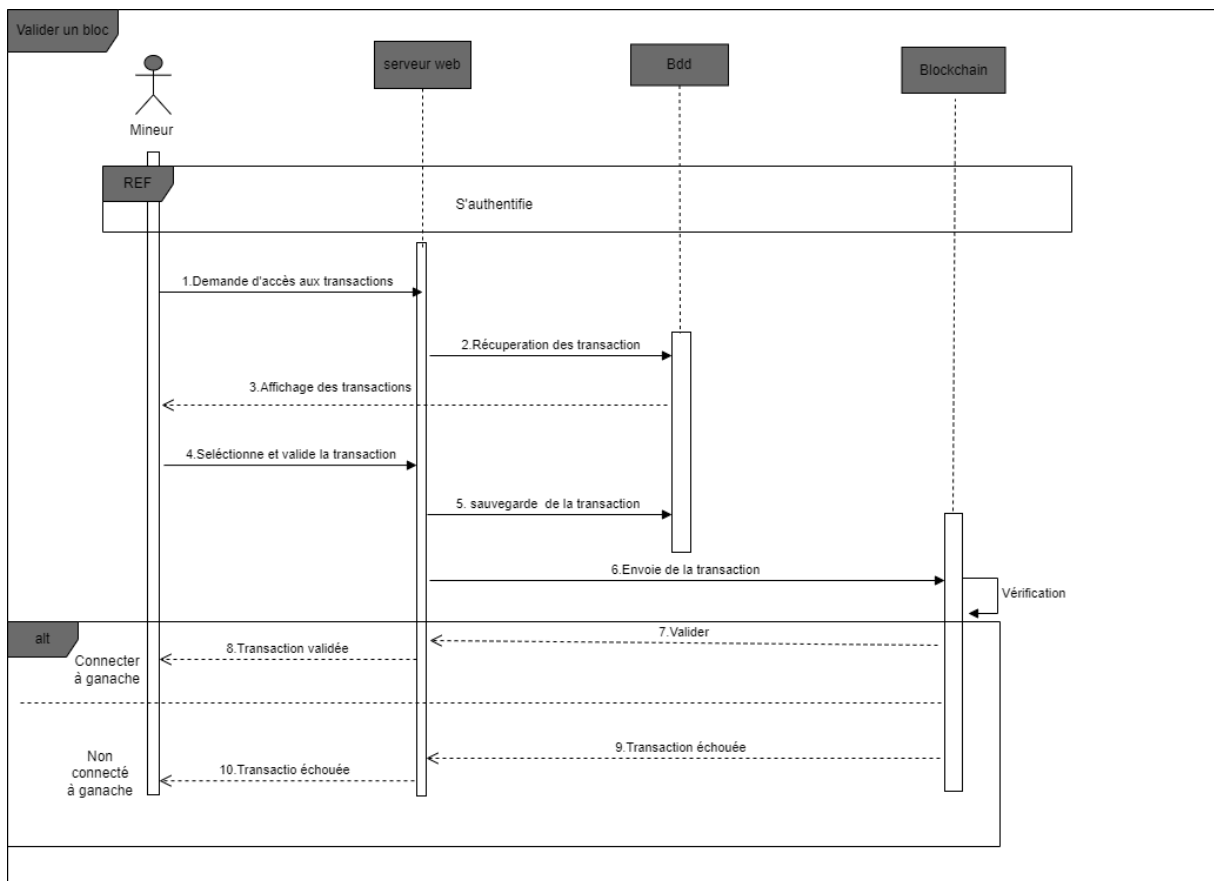


Figure 24-Diagramme de séquence du cas « validation des bloc générés-

7.3 Diagramme de classe

Un diagramme de classes fournit une vue globale d'un système en présentant ses classes, interfaces et collaborations, et les relations entre elles. [34]

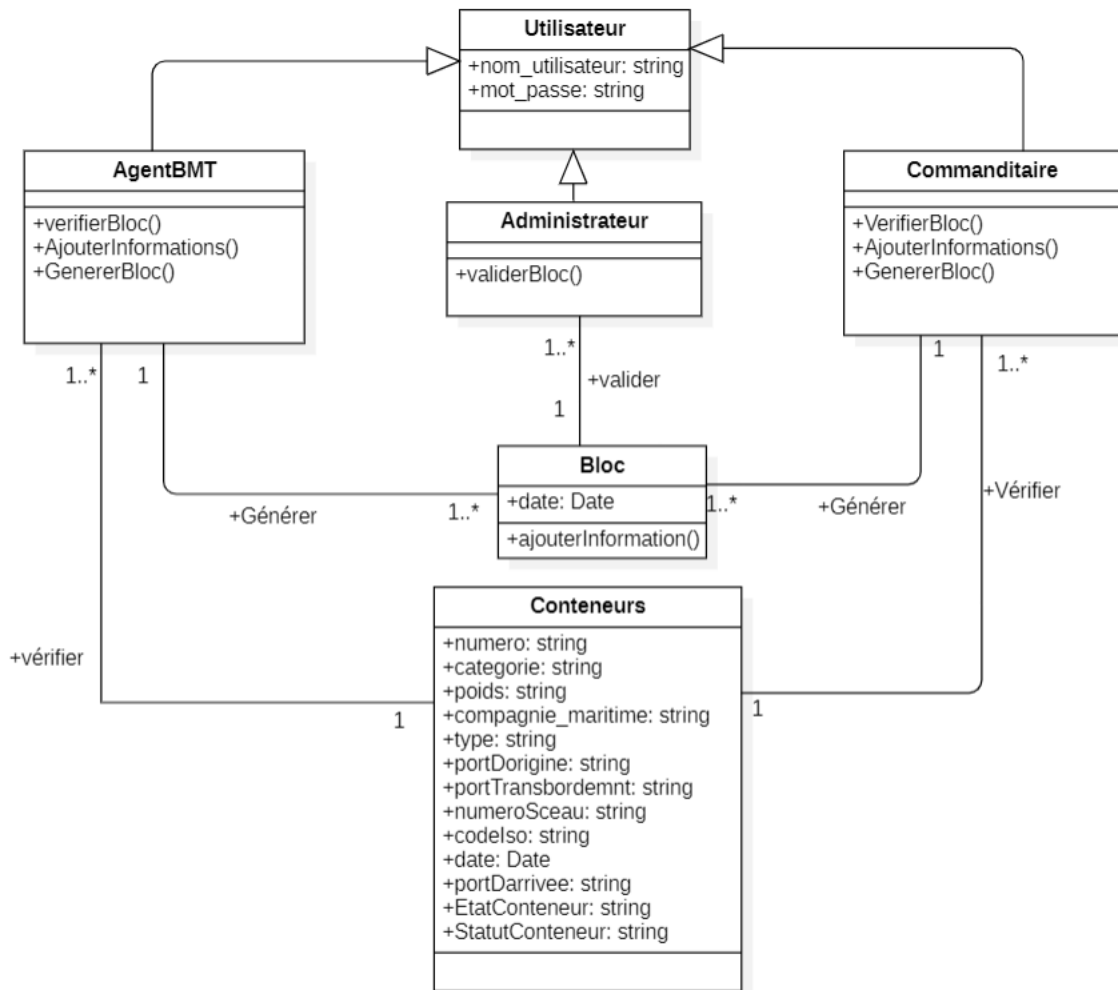


Figure 25-Diagramme de classe-

8 Environnement et outils de développement

8.1 Outil de conception

Pour la conception des diagrammes de cas d'utilisation, de séquence et de classe, nous avons utilisé Draw.io.

Daw.io est un logiciel de dessin graphique multiplateforme développé en HTML5 et JavaScript. Son interface peut être utilisée pour créer des diagrammes tels que des organigrammes, des wireframes, des diagrammes UML, des organigrammes et des diagrammes de réseau [35]

8.2 Outil de développement

Pour le développement et les tests de notre application décentralisées, nous avons utilisé Ganache.

Ganache est un outil développé par Truffle Suite destiné aux développeurs de blockchain Ethereum. Il offre une chaîne de blocs Ethereum locale pour le développement, permet de déployer, d'interagir et de tester des applications décentralisées (dApps) et contrats intelligents dans un environnement sûr et contrôlé. Ganache est conçu pour simuler le fonctionnement d'un réseau blockchain public tel qu'Ethereum, tout en offrant une flexibilité et un contrôle total, essentiels au cours du développement et des phases de test. [36]

8.3 Outil de gestion des comptes

MetaMask est une extension de navigateur pour gérer les comptes Ethereum et interagir avec les application décentralisées (DApps). Ce qui nous a facilité la gestion des comptes utilisateurs et a permet des interactions sécurisées avec la blockchain. [37]

8.4 Environnement de codage

Nous avons choisi Visual Studio Code comme environnement de développement pour notre application.

Visual Studio Code est un éditeur de code source et un environnement de développement intégré (IDE) de Microsoft. Il offre de nombreuses fonctionnalités comme la coloration syntaxique, l'autocomplétions, la mise en évidence des erreurs, la navigation de code et beaucoup d'autres. Il est également extensible à l'aide d'une grande variété d'extensions développées par la communauté, ce qui nous a permis de personnaliser l'éditeur selon nos besoins. [38]

8.5 Bibliothèques JavaScript

Pour le développement de notre application, nous avons intégrés des bibliothèques javascript.

Dans ce qui suit, nous vous présentons chaque bibliothèque que nous avons utilisé.

Axios est une extension JavaScript qui agit comme un client HTTP (Protocole de Transfert d'Information Hypertexte). Elle offre la possibilité de dialoguer avec des API (Interface de Programmation d'Application) en utilisant des demandes. [39]

Web3.js est une bibliothèque polyvalente qui vous permet d'interagir sans effort avec la blockchain Ethereum. Elle simplifie le processus d'interaction avec les contrats intelligents et la création de DApps (Applications Décentralisées). [40]

9 Description des interfaces

Dans cette partie, nous allons présenter à l'aide des interfaces les services qu'offre notre application intitulée Ctrack.

9.1 Connexion

La connexion à notre application via Metamask permet aux utilisateurs de se connecter de manière sécurisée. En effet, Metamask utilise la cryptographie pour protéger les données des utilisateurs.

Après avoir sélectionné son rôle, l'utilisateur doit entrer le mot de passe de MetaMask. Si l'authentification réussit, la page de connexion à l'application web s'affichera (figure 26), où il devra saisir son adresse e-mail et son mot de passe. Si cette seconde authentification est également réussie, l'utilisateur sera redirigé vers la page appropriée.

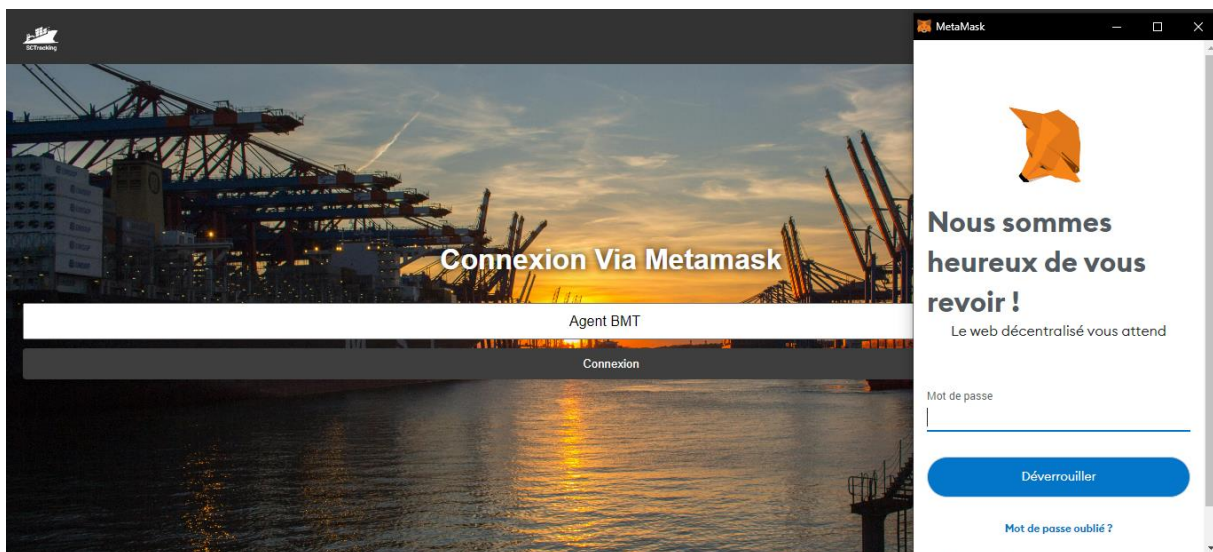


Figure 26-Connexion à la blockchain-

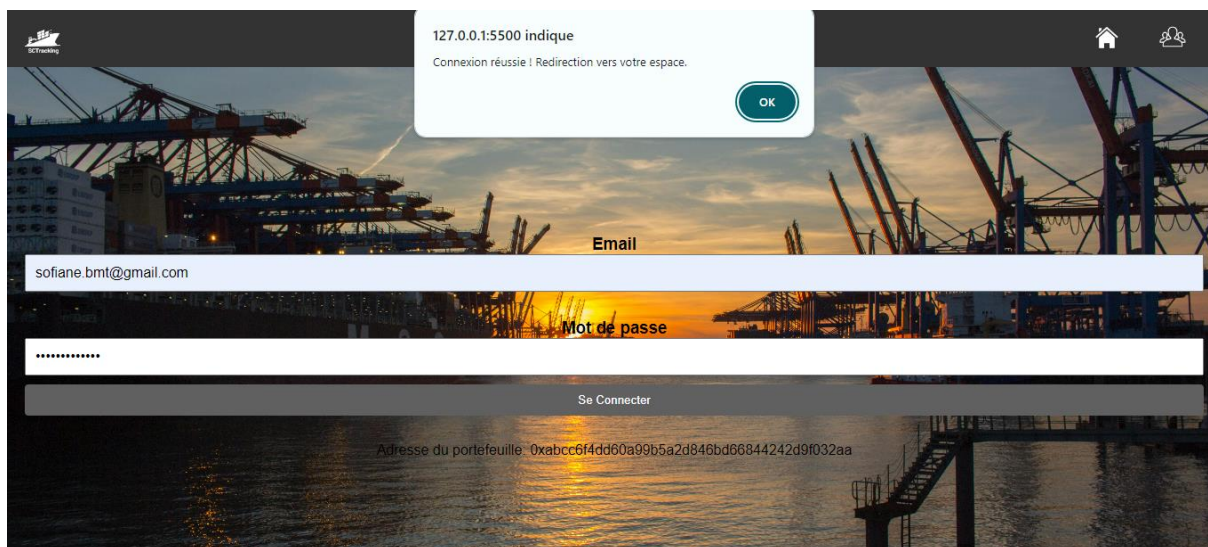


Figure 27-Connexion à l'application web -

9.2 Profil de la compagnie maritime

Une fois que la compagnie maritime est authentifiée, elle sera redirigée vers la page indiquée ci-dessous (figure 28). La compagnie maritime saisit les informations demandées et envoie la première transaction, générant ainsi le premier bloc qui sera par la suite validé par le mineur.

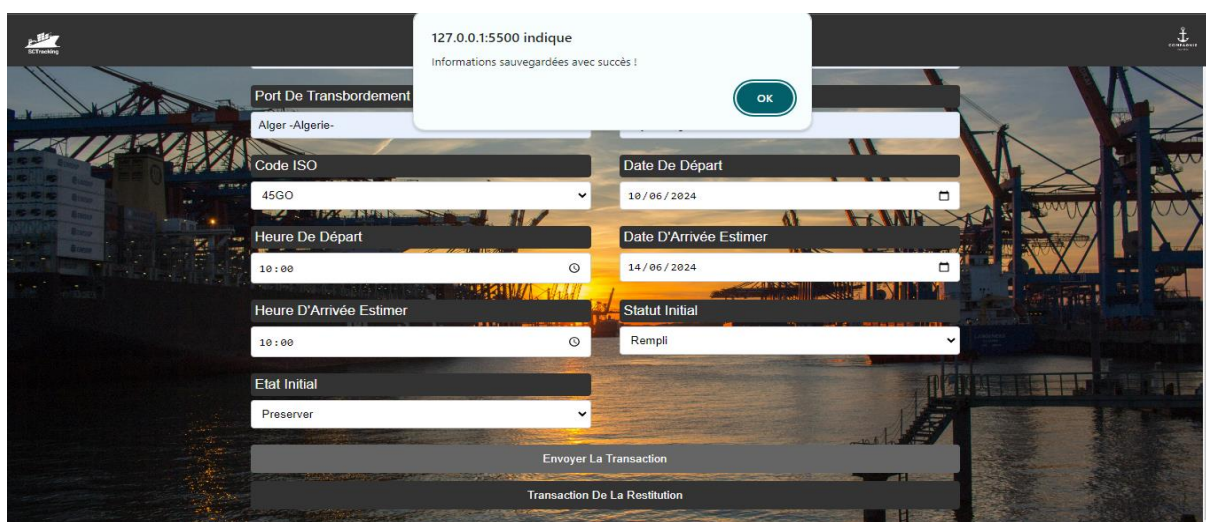


Figure 28-Interface pour la saisie des informations du premier bloc -

9.3 Profil de l'agent de la BMT

Une fois que le premier bloc est validé par le mineur, il est envoyé à l'agent de la BMT pour vérification (figure 29). Une fois vérifié par l'agent de la BMT, celui-ci saisit les nouvelles informations concernant l'arrivée du conteneur et envoie la deuxième transaction (figure 30). Cela génère ainsi le deuxième bloc, qui sera à son tour validé par le mineur.

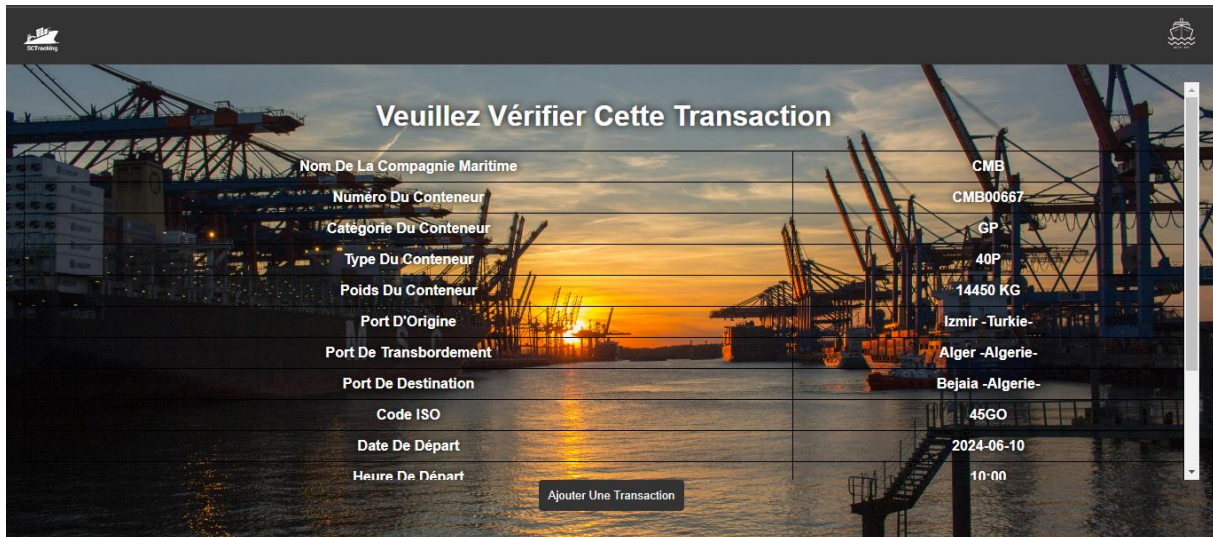


Figure 29- Interface pour la vérification du premier bloc-



Figure 30-Interface pour la saisie des informations du deuxième bloc-

9.4 Profile du commanditaire

Une fois que le deuxième bloc est également validé par le mineur, il est envoyé au commanditaire pour vérification (figure 31). Ensuite, le commanditaire ajoute les informations de réception ainsi que les détails pour la restitution des conteneurs. Il envoie la troisième transaction (32), générant ainsi le troisième bloc, qui sera également validé par

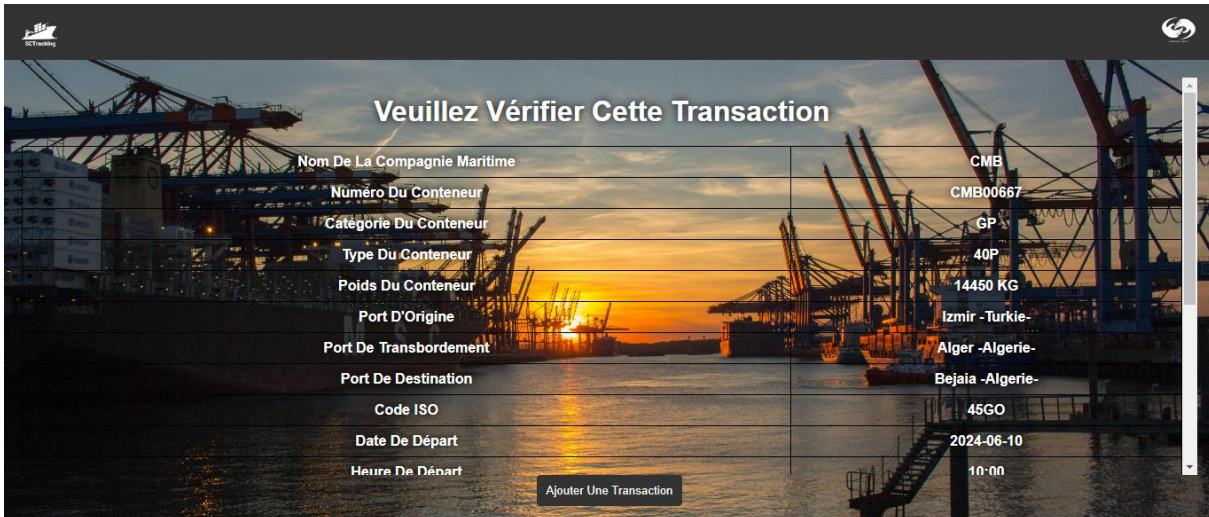


Figure 31- Interface pour la vérification du deuxième bloc -

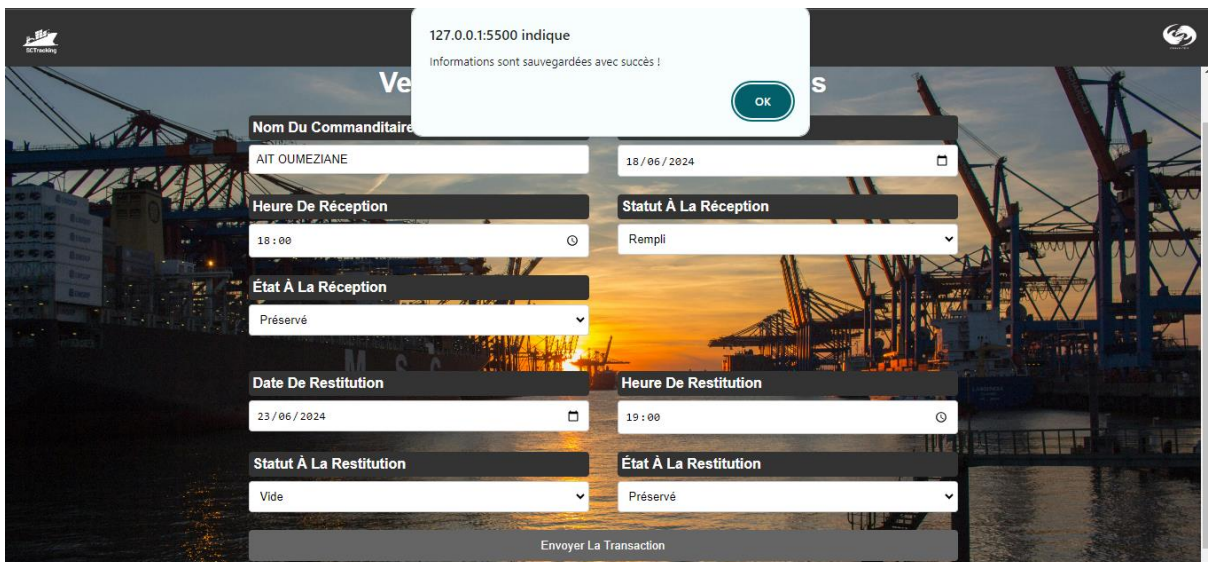


Figure 32- Interface pour la saisie du troisième bloc--

Le troisième bloc est ensuite envoyé par le mineur à l'agent de la BMT, qui ajoute également les informations relatives à la restitution et envoie alors le dernier bloc à la compagnie maritime, marquant ainsi la fin de cette série d'actions.

Avec cette approche, chaque formulaire garde une trace claire des informations précédentes tout en ajoutant les nouvelles informations spécifiques à chaque étape. Cela nous permet de maintenir une traçabilité complète et une clarté dans les transactions

9.5 Profile de l'administrateur / Mineur

Après que le mineur s'est authentifié, il sera redirigé vers sa page d'accueil (figure 33), où il choisit le type de transaction à valider. Une fois son choix effectué, l'interface correspondant à la transaction sélectionnée s'affiche. Dans cette interface, il confirme la validation du bloc. À la validation du bloc, un message indique le numéro du bloc validé et sa date de validation.

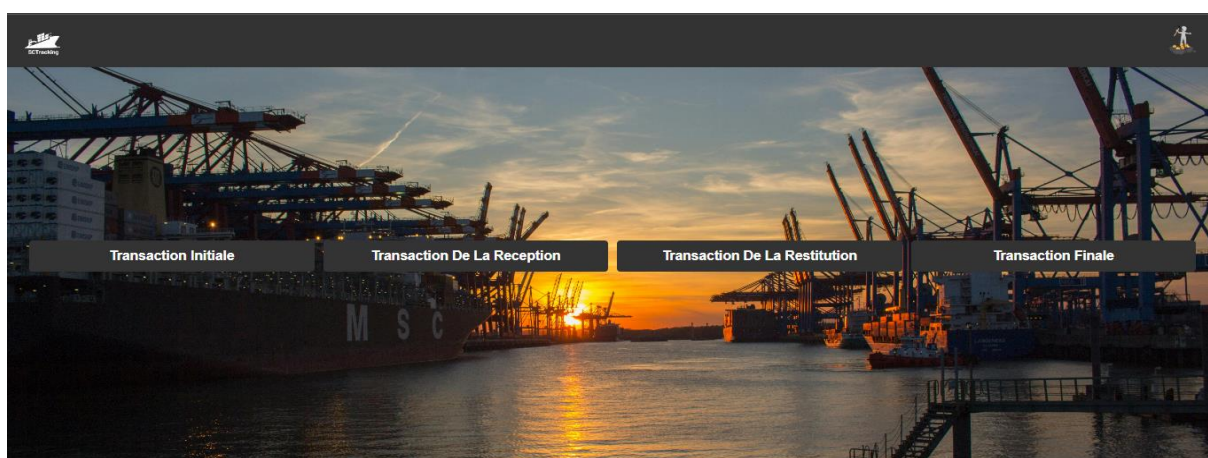


Figure 33-page d'accueil du mineur-

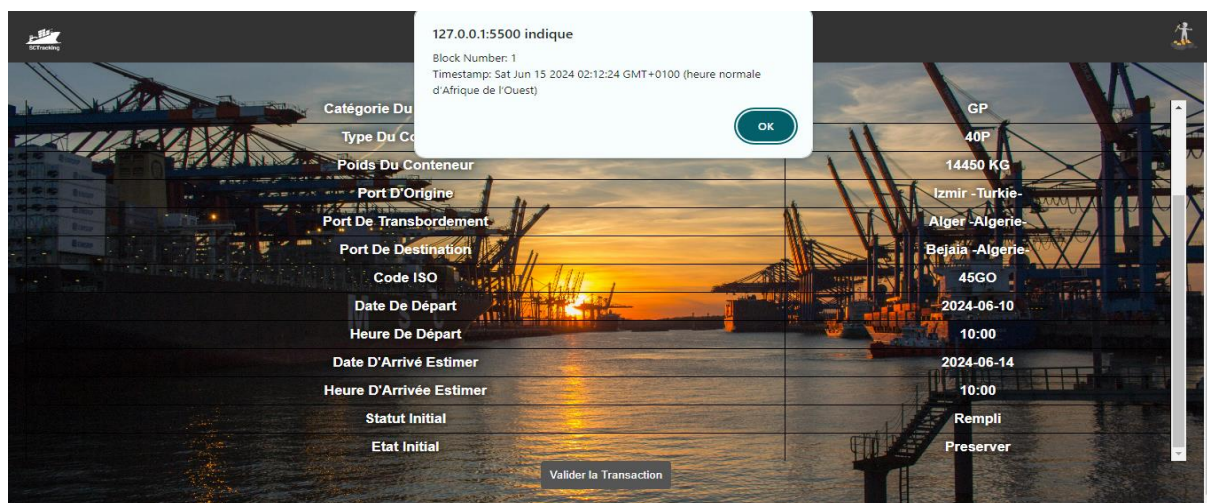
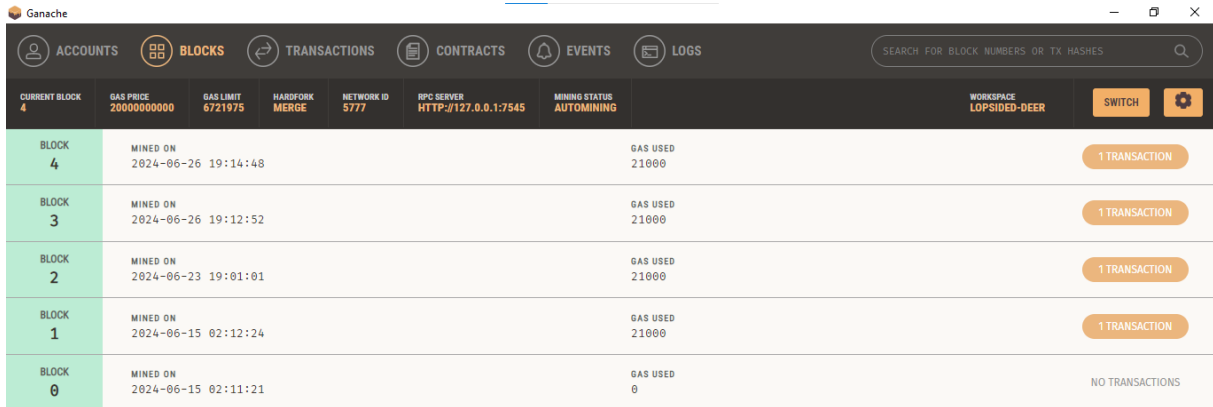


Figure 34- Interface pour la validation d'un bloc par le mineur-

Ganache conserve un enregistrement complet de toutes les transactions effectuées sur sa blockchain locale, permettant de retracer l'activité du réseau et d'analyser les modèles d'utilisation. Chaque bloc validé sera envoyé à Ganache. Et chaque bloc contient des informations détaillées sur les transactions incluses, telles que les identifiants de bloc, les adresses des expéditeurs et des destinataires, le gas consommé pour chaque transaction et le nombre total de blocs.



CURRENT BLOCK	GAS PRICE	GAS LIMIT	HARDFORK	NETWORK ID	RPC SERVER	MINING STATUS	WORKSPACE	
4	2000000000	6721975	MERGE	5777	HTTP://127.0.0.1:7545	AUTOMINING	LOPSIDED-BEER	SWITCH [Settings]
BLOCK 4	MINED ON 2024-06-26 19:14:48				GAS USED 21000		1 TRANSACTION	
BLOCK 3	MINED ON 2024-06-26 19:12:52				GAS USED 21000		1 TRANSACTION	
BLOCK 2	MINED ON 2024-06-23 19:01:01				GAS USED 21000		1 TRANSACTION	
BLOCK 1	MINED ON 2024-06-15 02:12:24				GAS USED 21000		1 TRANSACTION	
BLOCK 0	MINED ON 2024-06-15 02:11:21				GAS USED 0		NO TRANSACTIONS	

Figure 35-Interface ganache ou les blocs sont émergée-

10 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons discuté de la conception et de la réalisation de notre projet. Cela nous a permis de définir clairement les objectifs et les fonctionnalités nécessaires, facilitant ainsi le développement ultérieur. En suivant cette méthodologie, nous avons pu sélectionner les outils et technologies les plus adaptés pour réaliser notre application.

Conclusion générale

L'objectif de notre mémoire était de concevoir et de réaliser un système de suivi et de traçage des conteneurs en utilisant la technologie blockchain, en réponse aux limitations observées dans le système actuel utilisé au port de Béjaïa (BMT). Actuellement, le système repose principalement sur des fichiers Excel, vulnérables aux modifications non autorisées par les différents utilisateurs de la chaîne d'approvisionnement. Cette fragilité nous a conduit à envisager l'intégration de la blockchain pour renforcer la sécurité et l'intégrité des informations.

Dans le cadre de notre étude, nous avons d'abord effectué un état de l'art, analysant les travaux antérieurs et les systèmes existants similaires à notre projet. Cela nous a permis de mieux comprendre les défis et les solutions déjà proposées dans le domaine du suivi et du traçage des marchandises via la blockchain.

Par la suite, nous avons mené une étude approfondie de l'existant au sein de la BMT, où nous avons effectué un stage et dédié un chapitre spécial de notre mémoire à la description de leurs processus actuels. Nous avons constaté la vulnérabilité aux manipulations et le manque de transparence, renforçant ainsi la nécessité d'une solution plus sécurisée et fiable. Notre application, intitulée Ctrack, a été conçue pour répondre à ces besoins. Elle permet le suivi des conteneurs entre trois principaux acteurs : les agents de BMT, les compagnies maritimes et les commanditaires. Nous avons également intégré un mineur dans notre système, chargé de recevoir, valider et afficher les blocs dans Ganache. Ce choix technologique assure une traçabilité inaltérable et une transparence accrue des informations de suivi.

En conclusion, notre travail a démontré que l'intégration de la blockchain dans un système de suivi et de traçage des marchandises apporte une solution significative aux problématiques de sécurité et d'intégrité des données. Pour l'avenir, nous envisageons quatre perspectives clés pour améliorer encore notre application : l'intégration des contrats intelligents pour automatiser les transactions et renforcer la sécurité, le développement du cas d'utilisation spécifique aux compagnies maritimes pour répondre précisément à leurs besoins, la création d'une blockchain privée pour une gestion optimale et confidentielle des données, et enfin,

l'extension vers une application mobile afin d'offrir une accessibilité accrue et une expérience utilisateur plus flexible. Ces axes de développement visent à enrichir les fonctionnalités de Ctrack, consolidant ainsi notre proposition comme une solution innovante et robuste pour le suivi et la traçabilité des conteneurs.

Bibliographie

- [1] <https://bejaiamed.com/presentation-du-partenariat/>. Consulté le 27 avril 2024
- [2] <https://fr.scribd.com/doc/103060587/Container-Terminal-Management-System-CTMS>. Consulté le 27 avril 2024
- [3] <https://rbs-tops.com/glossary/positioning-detection-system-pds/> . Consulté le 27 avril 2024
- [4] <https://www.edibasics.com/fr/qu-est-ce-que-l-edi-/> . Consulté le 27 avril 2024
- [5] <https://www.allnews.ch/content/points-de-vue/les-10-principales-applications-de-la-%20technologie-blockchain/>. Consulté le 27 décembre2023
- [6] <https://www.village-justice.com/articles/technologie-blockchain-droit-pour-savoir-plus,30887.html>. Consulté le 27 décembre 2023
- [7] <https://www.esilv.fr/portfolios/utilisation-de-technologie-blockchain-vote- electronique/> . Consulté le 27 décembre 2023
- [8] <https://coinjournal.net/fr/crypto-monnaies/apprendre/blockchain/>. Consulté le 27 décembre 2023
- [9] <https://www.smartgrids-cre.fr/encyclopedie/la-blockchain-appliquee-a-energie/principes-foudateurs-de-la-blockchain> . Consulté le 27 décembre 2023
- [10] <https://actualiteinformatique.fr/blockchain/differents-types-blockchain> . Consulté le 27 décembre 2023
- [11] <https://academy.binance.com/fr/articles/what-is-a-blockchain-consensus-algorithm>. Consulté le 2 janvier 2024
- [12] <https://www.coindesk.com/fr/learn/what-is-proof-of-authority/>. Consulté le 2 janvier 2024. Consulté le 2 janvier 2024
- [13] <https://www.archipels.io/faq/identite-decentralisee#:~:text=L'identit%C3%A9%20num%C3%A9rique%20d%C3%A9centralis%C3...> Consulté le 2 janvier 2024
- [14] L. Leloup, «Blockchain la révolution de la confiance,» <https://fr.scribd.com/document/507992941/Blockchain-La-rA-volution-de-la-confiance-by-Laurent-Leloup-z-lib-org-mobi>. Consulté le 2 janvier 2024
- [15] H.Vranken «Durabilité du bitcoin et des blockchains, » Octobre 2017 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1877343517300015>. Consulté le 2 janvier 2024

- [16] <https://www.lemagit.fr/definition/Ethereum#:~:text=Ethereum%20est%20une%20plateforme%20logicielle,cadre%20de%20blockchain%20de%20consortium> Consulté le 2 janvier 2024
- [17] <https://kriptomat.io/fr/blockchain/avantages-et-inconvenients-de-la-technologie-blockchain/>. Consulté le 4 janvier 2024
- [18] <https://cryptoast.fr/scalabilite-definition-explication/>. Consulté le 4 janvier 2024
- [19] <https://hackernoon.com/fr/r%C3%A9inventer-1%C3%A9volutivit%C3%A9-de-la-blockchain-les-r%C3%A9seaux-u2u-approche-pionni%C3%A8re-de-l'infrastructure-web3> . Consulté le 4 janvier 2024
- [20] [En ligne]. Available: <https://www.usine-digitale.fr/article/la-blockchain-pose-de-serieux-problemes-de-confiance-de-droit-et-de-securite.N401527>. Consulté le 4 janvier 2024
- [21] N. SICARD, «méthodologie de conception et d'implémentation de la technologie blockchain dans le secteur industriel,» Mars 2023. <https://depote.uqtr.ca/id/eprint/10749/1/eprint10749.pdf>. Consulté le 13 mars 2024
- [22] F. K. Elmay, J. Raja , S. Khaled et O. Andilhaama , «Using NFTs and Blockchain for Traceability and Auctioning of Shipping Containers and Cargo in Maritime Industry,» 28 Novembre 2022. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9964143>. Consulté le 16 mars 2024
- [23] S. K. Nanda, K. P. Sandeep et D. Madhabananda , «Medical supply chain integrated with blockchain and IoT to track the logistics of medical products,» 4 Mars 2023. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11042-023-14846-8>. Consulté le 27 mars 2024
- [24] N. Gao, H. Dezhi , W. Tien-Hsiung, X. Benhui, L. Dun, C. Acangelo et L. Kuan-Ching, «Modeling and analysis of port supply chain system based on Fabric blockchain,» <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360835222005368>. Consulté le 1 avril 2024
- [25] A.S.M. Touhidul Hasan a, S. Shabnam , . D. Apubra et H. Rakib Ul , «A peer-to-peer blockchain-based architecture for trusted and reliable agricultural product traceability,» 14 Novembre 2023. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772662223002035>. Consulté le 8 avril 2024
- [26] <http://e-biblio.univ-mosta.dz/bitstream/handle/123456789/20471/MINF299.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Consulté 10 avril 2024
- [27] «Up : Unified process,» <https://sabricole.developpez.com/uml/tutoriel/unifiedProcess/>. Consulté le 30 avril 2024
- [28] «Le langage de modélisation UML,» <https://www.africmemoire.com/part.5-ii-3-1-le->

langage-de-modelisation-uml-949.html. Consulté le 30 avril 2024

- [29] «Les diagrammes de cas d'utilisation UML,»
<https://www.lucidchart.com/pages/fr/diagramme-de-cas-dutilisation-uml>. Consulté le 30 avril 2024
- [30] <https://www.codeur.com/projects/118632-une-application-gestion-des-stagiaires-en-windev>. Consulté le 7 mai 2024
- [31] <https://mathieux51.gitbooks.io/howto/content/II.cahier-des-charges/2.expression-des-besoins/2.besoins-non-fonctionnels.html> Consulté le 7 mai 2024
- [32] https://atefsd.weebly.com/uploads/5/0/3/6/503639/csi_02_chap02.pdf. Consulté le 7 mai 2024
- [33] <https://ideascale.com/fr/blogues/quest-ce-que-le-diagramme-de-sequence/>. Consulté le 13 mai 2024
- [34] https://docwiki.embarcadero.com/RADStudio/Athens/fr/D%C3%A9finition_des_diagrammes_de_classes_UML_1.5. Consulté le 13 mai 2024
- [35] <https://en.wikipedia.org/wiki/Diagrams.net> Consulté le 1 juin 2024
- [36] <https://w3rone.w3r.dev/fr/blog/blockchain-web3/smart-contracts/outils-environnements-developpement/ganache-simuler-environnement-blockchain-developpement>. Consulté le 1 juin 2024
- [37] <https://academy.bit2me.com/fr/que-es-metamask-la-forma-mas-facil-de-usar-dapps/>. Consulté le 1 juin 2024
- [38] <https://bility.fr/definition-visual-studio-code/> . Consulté le 1 juin 2024
- [39] <https://www.journaldunet.fr/developpeur/developpement/1441159-axios-concevoir-une-requete-post-pour-renvoyer-les-donnees-d-un-formulaire/> . Consulté le 1 juin 2024
- [40] <https://fr.linkedin.com/pulse/web3js-d%C3%A9crypt%C3%A9-cr%C3%A9er-des-applications-d%C3%A9centralis%C3%A9es-baris-morten-cwrxf#:~:text=js-Web3.,et%20la%20cr%C3%A9ation%20de%20DApps.> . Consulté le 1 juin 2024

Résumé

Ce travail a pour but de réaliser un système de suivi et traçage des marchandises basé sur la technologie de la blockchain, qui permet de donner un contrôle final sur les informations de suivi aux utilisateurs et garantit la sécurité des données tout en assurant la confidentialité des informations sensibles.

Pendant notre stage chez la BMT, nous avons constaté un risque de modification des données qui pourrait compromettre la fiabilité du suivi des marchandises. Pour résoudre ce problème, nous avons suggéré l'utilisation de la blockchain Ethereum pour assurer l'immutabilité des données, assurant ainsi la sécurité et la transparence des informations tout au long de la chaîne logistique.

Mots-clés : Suivi et traçage des Marchandises, Blockchain, Ganache, MetaMask

Abstract

This project is dedicated to creating a system for tracking and tracing merchandise using blockchain technology. It empowers users with full control over tracking information while ensuring data security and protecting the confidentiality of sensitive data.

During our internship at BMT, we found a risk of data changes that could compromise the reliability of merchandise tracking. To solve this problem, we suggested using the Ethereum blockchain to ensure data immutability, thus ensuring information security and transparency throughout the supply chain

Keywords : suivi et traçage des marchandises, Blockchain, Ganache, MetaMask